بسم الله الرحمن الرحیم

فیزیک(۲) و آزمایشگاه

سال دوم آموزش متوسّطه

رشته‌های علوم تجربی ـ ریاضی و فیزیک

۱۳۹۱

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی**
نام کتاب : **فیزیک (۲) و آزمایشگاه ـ ۲۲۶/۲**
شورای برنامه‌ریزی : **احمد احمدی، محمود امانی، اعظم پورقاضی، روح‌اللّه خلیلی‌بروجنی، ابوالقاسم زال‌پور، سیّدمهدی شیوایی، شیرین فراهانی، حسن عزیزی، غلامعلی محمودزاده** و **منصور وصالی**
مؤلفان : **اعظم پورقاضی، سیّدمهدی شیوایی، حسن عزیزی** و **غلامعلی محمودزاده**
آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ چاپ و توزیع کتاب‌های درسی**
تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۹ ـ ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،
وب‌سایت: www.chap.sch.ir
رسام : **مریم دهقان‌زاده**
صفحه‌آرا : **شهرزاد قنبری**
طراح جلد : **علیرضا رضائی‌کُر**
ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)**
تلفن: ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»**
سال انتشار و نوبت چاپ : **چاپ سیزدهم ۱۳۹۱**

شابک ۳-۰۷۲۵-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-0725-3



هر کاری را که انسان باورش این است که نسبت به آن کار ضعیف است، نمی‌تواند آن کار را انجام بدهد. ... هر کشوری که اعتقادش این باشد که نمی‌تواند خودش صنعتی را ایجاد کند این ملت محکوم به این است که تا آخر نتواند، و این اساس نقشه‌هایی بوده است که برای ملل ضعیف دنیا قدرت‌های بزرگ کشیده‌اند.

امام خمینی

فهرست

سخنی با دانش‌آموزان و همکاران محترم

در قرن بیست‌ویکم رشد سریع علوم با سرعت بیشتری انجام خواهد شد و حجم اطلاعات علمی بشر طبق تخمین دانشمندان در چند سال آینده در هر چند ماه دو برابر می‌گردد. شیوه‌های زندگی نیز به دنبال این تحولات در علم و تکنولوژی خیلی سریع تغییر می‌کنند. بنابراین نیازهای فردایِ دانش‌آموزانِ امروز برای ما خیلی آشکار نیست. به دنبال این تحولات شیوه‌های آموزش علوم (فیزیک) به تبع نیازهای مجهول آینده فرزندانمان تغییر چشمگیری در جهان داشته است. در این شیوه‌ها تلاش زیادی می‌شود تا دانش‌آموز «چگونگی آموختن» را بیاموزد و مهارت برخورد با مطلب یا مسئله جدید و طی مراحلی که منجر به حل آن مسئله می‌شود را فرا گیرد.

کتاب فیزیک (۲) و آزمایشگاه براساس روش فعال تألیف شده است. یعنی دانش‌آموز در تولید مفاهیم نقش دارد و نقش دبیران محترم، ایجاد مسئله و سپس راهنمایی دانش‌آموزان برای رسیدن به حل مسئله است. در این کتاب سعی شده سه هدف نگرشی، دانشی و مهارتی مورد توجه کامل قرار گیرد و حجم و تعداد مفاهیم با توجه به اختصاصی‌بودن درس برای دانش‌آموزان رشته علوم ریاضی و تجربی انتخاب شده است.

انتظار می‌رود همکاران گرامی با تکیه بر تجربه و توانایی‌های خود، فعالیت یا آزمایشی را که در یادگیری می‌تواند کمک کند طراحی کرده و دانش‌آموزان را بر انجام آن‌ها ترغیب کنند و از آنان بخواهند که نتایج آن فعالیت‌ها را در دفتر گزارش کار خود ثبت کنند. این دفتر و عملکرد دانش‌آموزان در حین انجام فعالیت می‌تواند به‌عنوان یکی از ملاک‌های ارزشیابی مورد توجه قرار گیرد. **لازم به تذکر است که عناوین و مباحث این کتاب براساس سن دانش‌آموزان و زمان تخصیص داده به این درس تدارک دیده شده است و همکاران محترم بایستی از پیرایه‌های اضافی به این مباحث، که به‌طور مبسوط‌تر در سال‌های آتی ارائه خواهند شد، بپرهیزند.**

گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی همواره از دریافت نظرهای ارزشمند دبیران محترم، صاحب‌نظران و دانش‌آموزان جهت رفع نارسایی‌ها و لغزش‌های احتمالی به‌گرمی استقبال می‌کنند. نظرهای اصلاحی خود را به نشانی تهران ــ صندوق پستی ۱۵۸۵۵/۳۶۳ ــ گروه فیزیک و یا نشانی الکترونیک physics-dept@talif.sch.ir ارسال نمایید.

گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی

http://physics-dept.talif.sch.ir



بنایی درطوس ــ خراسان رضوی

یکی از وجوه مشترک فیزیک و معماری اندازه‌گیری است. هنرمندان معمار ایرانی از صدها سال پیش با نگاه دقیق به مبانی اندازه‌گیری، اثرهای بدیع و ماندگاری را در طول تاریخ تمدن اسلامی ایران بنا کرده‌اند.

فصل
۱

فیزیک و اندازه‌گیری

فیزیک چیست؟ فیزیکدانان درچه زمینه‌هایی کار می‌کنند؟ روش کار فیزیکدانان چیست؟
در این فصل، برای پاسخ دادن به چنین پرسش‌هایی نخست به تشریح موضوع علم فیزیک می‌پردازیم. برای این کار با بیان یک تاریخچهٔ مختصر به معرفی روش علمی‌ای که در فیزیک مطرح است، می‌پردازیم. سپس زمینه‌هایی را که فیزیک در آن‌ها کاربرد دارد و شاخه‌های مختلف علم فیزیک را برمی‌شماریم.

با توجه به اهمیتی که اندازه‌گیری در فیزیک دارد، قسمت بیشتری از این فصل به اندازه‌گیری و نکته‌های مربوط به آن اختصاص دارد.

سرانجام در قسمت پایانی کمیت‌های فیزیکی اصلی و فرعی را معرفی می‌کنیم. آن‌گاه کمیت‌های نرده‌ای و برداری و عملیات جبری آن‌ها را تا حد نیاز شرح خواهیم داد.

۱ــ۱ــ تاریخچهٔ پیدایش و گسترش فیزیک

واژهٔ فیزیک برگرفته از واژهٔ باستانی یونانی Physis به معنای طبیعت و ماهیّت است. تا آن‌جا که تاریخ مدون علم نشان می‌دهد، فیلسوفان آسیای صغیر (در سدهٔ هفتم قبل ازمیلاد مسیح) نخستین کسانی بودند که پرسش‌هایی دربارهٔ طبیعت و ماهیّت بنیادی (Physis) دنیای مادی مطرح ساختند. استدلال‌هایی که این فیلسوفان در توجیه باورهای علمی خود ارائه می‌کردند، منطبق بر شیوهٔ استدلال علمی در عصر حاضر نبود. با این وجود، این استدلال‌ها از تصورات خرافی مردم آن زمان کاملاً دور بود.

اندیشه‌های علمی این فیلسوفان در سدهٔ پنجم قبل از میلاد در یونان و پس از آن در کشورهای

تحت نفوذ فرهنگ یونان (مقدونیه، سوریه و مصر) به‌ویژه در شهر اسکندریه پی‌گیری شد. کارهای **ارشمیدس** (متولد سال ۲۸۷ قبل از میلاد مسیح) دربارهٔ مبحث‌های ایستاشناسی (استاتیک) و هیدروستاتیک به‌همین دوره مربوط می‌شود. رهیافت ارشمیدس برخلاف پیشینیان وی به روش‌های علمی امروزه خیلی نزدیک بود.

پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان کشورهای اسلامی از قبیل ابوریحان بیرونی، ابن‌هیثم، خواجه نصیرالدین طوسی و بسیاری دیگر در زمینه‌های نجوم و اپتیک، علم فیزیک را گسترش دادند که بعداً بخشی از این نتایج پایه‌ای برای کارهای گالیله و دیگران شد.

گالیله توانست با «اندازه‌گیری‌های تجربی» و «تجزیه و تحلیل ریاضی» روش جدیدی را برای بررسی دستگاه‌های ساده ارائه دهد. او حرکت اجسام روی سطح شیبدار را بررسی کرد و مشخصه‌های اصلی حرکت‌ها را معرفی کرد. این مشخصه‌ها کمیت‌هایی **قابل اندازه‌گیری** مثل جرم جسم یا زمان لازم برای طی یک مسافت معین بود. او سعی کرد رابطه‌ای بین این اندازه‌گیری‌ها بیابد و نتیجه را به‌صورت ریاضی بیان کند. با کارهای گالیله روشن شد که نتایج یک بررسی شامل چند اندازه‌گیری را اغلب می‌توان در یک جملهٔ بسیار ساده خلاصه کرد. جملهٔ سادهٔ زیر مثالی از این گونه جمله‌هاست که شما در فصل‌های بعد این کتاب به‌درستیِ آن پی خواهید برد.

«یک جسم حالت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آن که تحت تأثیر نیرویی، مجبور به تغییر آن حالت شود.»

گالیله نشان داد که قانون‌های طبیعت از معادله‌های ریاضی معمولاً ساده‌ای پیروی می‌کنند. از آن زمان تاکنون فیزیکدانان درجستجوی **روابط ریاضی‌ای** هستند که **نتایج اندازه‌گیری‌ها** را به‌هم مربوط می‌کنند. امروزه این اندازه‌گیری‌ها با دقت‌های بسیار بالا و در بُعدهای بسیار ریز (پلیمرها، ملکول‌ها، اتم‌ها و...) تا بُعدهای بسیار بزرگ (زمین، سیاره‌های دیگر، کهکشان‌ها و...) انجام می‌شود.

مفهوم‌های اساسی در فیزیک برحسب اندازه‌گیری‌ها بیان می‌شوند و هدف هر نظریهٔ فیزیکی بیان ارتباط نتیجهٔ چند اندازه‌گیری به یک دیگر است. هرچقدر هم که یک نظریه به صورت انتزاعی و مجرد بیان شده باشد، باز هم به پیشگویی‌هایی منجر می‌شود که تنها توسط اندازه‌گیری قابل ارزیابی است.

۱ــ۲ــ ارکان علم فیزیک

اینک پس از این مرور کوتاه تاریخی، می‌توانیم ارکان علم فیزیک را معرفی و توصیف کنیم. **هدفی** که فیزیک دنبال می‌کند، همانند دوران یونان باستان، یافتن ماهیت و طبیعت بنیادی دنیای پیرامون است.

روش فیزیک، روش **گالیله** است که بعداً توسط نیوتون تکمیل شد. یعنی **موضوع موردنظر** توسط **تجربه** (انجام آزمایش) و **تجزیه** و **تحلیل** ریاضی بررسی می‌شود.

موضوع یا **دستگاه** مورد بررسی درفیزیک می‌تواند بسیارساده و ابتدایی و یا بسیار پیچیده و ژرف باشد. **گالیله** جسمی را روی سطح شیبدار رها می‌کند. **ژول** یک چرخ پروانه‌دار را در آب می‌چرخاند. **رادرفورد** عناصر پرتوزای کمیاب را مورد آزمایش قرار می‌دهد و... .

در فیزیک وقتی صحبت از **تجربه** می‌شود، منظور جمع‌آوری اطلاعاتی از رویداد یا موضوع مورد بررسی است. برای این کار معمولاً یک رشته **اندازه‌گیری** انجام می‌دهند. با این اندازه‌گیری‌ها، ویژگی‌های مختلف دستگاه موردنظر مشخص می‌شود. مجموعهٔ این فعالیت‌های تجربی را معمولاً **«مشاهده»** می‌نامیم. مثلاً وقتی می‌گوییم که مشاهده می‌شود **حجم یک جسم با افزایش دما زیاد می‌شود،** منظور ما آن است که اندازه‌گیری‌های متعدد در دماهای مختلف و برای جسم‌های مختلف انجام شده و در هریک از آن‌ها حجم جسم مورد آزمایش و دمای آن اندازه‌گیری شده و این نتیجه به‌دست آمده است. به‌دلیل اهمیتی که مهارت مشاهده و اندازه‌گیری در فیزیک دارد، در بخش جداگانه‌ای به جزئیات آن می‌پردازیم.

نتیجهٔ مشاهده‌ها و اندازه‌گیری‌ها، شالودهٔ کار در مرحلهٔ **تجزیه و تحلیل** ریاضی را فراهم می‌سازد. فیزیکدانانی که بیش‌تر در زمینهٔ طرح‌ریزی و انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری اطلاعات از طریق اندازه‌گیری پژوهش می‌کنند، فیزیکدانان تجربی نامیده می‌شوند.

اینک بیایید ببینیم یک فیزیکدان در مرحلهٔ تجزیه و تحلیل چه می‌کند؟ آن‌ها با بررسی دقیق یافته‌های تجربی (یا مشاهده‌ها) که از اندازه‌گیری‌ها به‌دست آمده‌اند، سعی می‌کنند رابطهٔ بین آن‌ها را بیابند. برای این کار، آن‌ها نه تنها نیاز دارند که رابطه‌های موجود را که در موردهای مشابه به‌دست آمده‌اند به خوبی بدانند بلکه باید خلاقیت و توان تصور خوبی هم داشته باشند. زیرا رابطه‌ای که یک فیزیکدان بیان می‌کند، معمولاً براساس مدلی است که در ذهن خود از واقعیت ساخته است. اگر این مدل به خوبی بر واقعیت منطبق باشد، نه‌تنها به رابطهٔ صحیحی بین نتیجه‌های تجربی منجر می‌شود بلکه فیزیکدان می‌تواند براساس آن، رابطه‌های دیگری را نیز پیش‌بینی کند.

مجموعه‌ای از مدل‌ها و رابطه‌هایی که از طریق تجربه‌ها به‌دست می‌آیند، یک **نظریه** (یا تئوری) را می‌سازند. فیزیکدانانی را که با تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی (مشاهده‌ها)، نظریه می‌سازند، **فیزیکدانان نظری یا نظریه‌پرداز** می‌نامند.

از زمان گالیله تاکنون که این شیوهٔ علمی رایج بوده است، نظریه‌های فراوانی مطرح شده‌اند ولی همهٔ این نظریه‌ها مورد قبول واقع نشده‌اند.

شما فکر می‌کنید یک نظریهٔ فیزیکی باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد تا مورد تأیید همگان باشد؟ احتمالاً پاسخ می‌دهید که باید با همهٔ یافته‌های تجربی و نظریه‌های معتبر قبلی سازگار باشد. این‌ها همه درست است ولی آزمون دیگری هم هست که در طول زمان هر نظریهٔ علمی را محک می‌زند. این آزمون به شرح زیر است :

دانشمندان به کمک مدل‌های ریاضی، که در نظریه مطرح شده است، پیش‌بینی‌هایی می‌کنند. سپس براساس این پیش‌بینی‌ها، طرح آزمایش‌های جدیدی را می‌ریزند و سعی می‌کنند شرایط مناسب برای انجام آن آزمایش‌ها را فراهم کنند. اگر نتایج این آزمایش‌ها با پیش‌بینی‌های نظریهٔ موردنظر سازگار نبود، نظریه رد می‌شود ؛ در غیر این‌صورت نظریه تأیید و احتمالاً تکمیل می‌شود.

دانشمندان اغلب هنگامی یک نظریهٔ جدید را به‌جای نظریهٔ قدیمی‌تر می‌پذیرند که یا پیش‌بینی‌هایی که براساس آن صورت می‌گیرد، از نظر کمّی سازگاری بهتری با تجربه داشته باشد و یا تعداد بیشتری از پدیده‌ها را توجیه کند.

فعالیت ۱ــ۱

دربارهٔ نقش فیزیک در پیشبرد فناوری تحقیق کنید و نتیجهٔ کار خود را در کلاس مورد بحث قرار دهید.

۱ــ۳ــ کاربردهای فیزیک

گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی ما داشته است. مطالعهٔ هر بخش از جهان پیرامون ما، چه کوچک چه بزرگ، چه جاندار چه بی‌جان، بدون دانش فیزیک میسر نیست.

شما با فراگیری فیزیک می‌آموزید که چگونه : مشاهده کنید، بررسی کنید، آزمایش انجام دهید و نتایج آزمایش‌ها را به‌صورت مناسب ثبت کنید. علاوه‌بر این، آماده می‌شوید که این نتایج را برای دیگران توضیح دهید و دربارهٔ نظر و عقیدهٔ خود بحث کنید. فراگیری دانش‌فیزیک توانایی شما را در

انطباق با فناوری سریعاً در حال تغییر عصر حاضر، بالا می‌برد. برای آموختن فیزیک **باید با کسب مهارت ریاضی لازم بتوانید نتایج و مفهوم‌ها را با جملات دقیق بیان کنید.**

امروزه در جهان، فیزیکدانان علاوه بر فعالیت در شاخه‌های گوناگون فیزیک از قبیل فیزیک مادهٔ چگال، اختر فیزیک، فیزیک هسته‌ای، فیزیک اتمی و مولکولی و لیزر، فیزیک ذره‌های بنیادی، فیزیک پلاسما، فیزیک بنیادی و... در زمینه‌ها و شغل‌های متفاوت دیگری نیز به‌کار مشغولند که تعدادی از آن‌ها را در ادامه برمی‌شماریم.

فیزیک پزشکی: ساخت ابزار پزشکی، فیزیک تندرستی، فیزیک برای معلولان.

رایانه: طراحی رایانه‌ها، طراحی سیستم، طراحی با کمک رایانه، روبات‌ها (آدم‌های ماشینی)، کنترل ریزپردازنده‌ها.

سازمان‌های دولتی: صنایع دفاع، انرژی و منابع آن، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، بخش صدور پروانه‌ها و مجوزها، سیاست‌گذاری‌های علمی، مؤسسهٔ استاندارد.

آموزش: دبیرستان‌ها، آموزشکده‌ها، دانشگاه‌ها.

هواشناسی: اقیانوس‌شناسی، پیش‌بینی هوا.

علم مواد: متالورژی، مواد جدید، لایه‌های نازک.

ژئوفیزیک: معدن‌شناسی، نفت، جستجوی معادن، پالایش مواد معدنی، زلزله‌شناسی.

انرژی‌های نو: انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی موج، ژئوترمال (یا زمین گرمایی).

مخابرات: تارهای نوری، ماهواره‌ها، مخابرات راه‌دور.

فیزیک محیط زیست: حفاظت در برابر پرتوها، کنترل سر و صدا، کنترل آلودگی، حفظ محیط زیست.

مهندسی: مهندسی شیمی، مهندسی سازه، کنترل، مهندسی برق، مهندسی مکانیک و مهندسی هسته‌ای.

صنعت: هوا ــ فضا، صنایع شیمیایی، الکترونیک، صنایع غذایی، نفت، نیم‌رساناها، ابررساناها و... .

۱ــ۴ــ اندازه‌گیری

آیا تاکنون به این نکته توجه کرده‌اید که در ذهن خود برای هرکس یا هرچیز صفت‌ها و ویژگی‌هایی قائلید. به یخ سردی، به آب روانی، به گل زیبایی، به آسمان رنگ‌آبی، به مادر مهربانی، به پر سبکی، به سنگ سنگینی، به فیل بزرگی جثه و به مورچه نحیفی جثه و... نسبت می‌دهید. برخی از این ویژگی‌ها به طور دقیق قابل اندازه‌گیری‌اند و برخی دیگر نه. برای مثال سبکی و سنگینی، بلندی و کوتاهی را

به‌صورتی کاملاً تعریف شده و مورد توافق همگان می‌توان اندازه‌گرفت. ولی برای اندازه‌گیری زیبایی یا مهربانی و بسیاری از ویژگی‌ها دیگر چنین روش‌هایی وجود ندارد.

در زندگی روزانه، هریک از ما اندازه‌گیری‌هایی انجام می‌دهیم. زمان را اندازه می‌گیریم، فاصلهٔ بین دو نقطه یا طول یک جسم یا ارتفاع و یا عمق یک نقطه از سطح زمین و... را اندازه‌گیری می‌کنیم. این اندازه‌گیری‌ها و اندازه‌گیری‌های دیگری که می‌توان برشمرد، ممکن است تفاوت‌های زیادی با یکدیگر داشته باشند ولی برای همهٔ آن‌ها می‌توانیم جنبه‌های مشترکی بیابیم. برای روشن شدن این جنبه‌های مشترک، فعالیت زیر را انجام دهید.

فعالیت ۱ـ۲

فعالیت‌های روزانه چند نفر از مردم اطراف خود (پزشک، خیاط، اعضای خانواده، عطار، شیشه‌بر و ...) را به دقت درنظر بگیرید. جدولی همانند جدول زیر را تنظیم و پس از تحقیق آن را پر کنید. آنگاه جدول خود را با جدول افراد گروه خود مقایسه کنید و اگر در جدول اعضای گروه شما ستون‌های دیگری وجود دارد به جدول خود اضافه کنید.

	چه‌چیزی را اندازه می‌گیرد	وسایل اندازه‌گیری	مقادیر به‌دست آمده	اطلاعات دیگر
پزشک	فشار خون دمای بدن	فشارسنج دماسنج	۱۲ـ۸ ۳۷/۵درجه‌سلسیوس	
نجّار				
خیاط				

اکنون نتیجهٔ بحث گروه خود را به کلاس گزارش کنید.

جایگاه اندازه‌گیری در فیزیک: پیش از این دیدیم که گام اول در روش بررسی هر موضوع در فیزیک، انجام آزمایش است. در هر آزمایش با چند نوع اندازه‌گیری سر و کار داریم. با مرور کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه، نمونه‌هایی از اندازه‌گیری‌ها را بیابید و آن‌ها را نیز در جدولی که در فعالیت قبلی تهیه کرده‌اید، درج کنید. با مرور این جدول آیا می‌توانید ویژگی‌ای بیابید که (مانند زیبایی گل) قابل اندازه‌گیری نباشد؟

پاسخ شما به یقین منفی است. درواقع همان‌گونه که در قسمت ارکان فیزیک گفته شد، فیزیک مجموعه‌ای است از اندازه‌گیری‌ها و رابطهٔ بین نتیجه‌های آن‌ها که نظریه‌ها و قانون‌های فیزیک را می‌سازند. این که می‌گویند «فیزیک علم *اندازه‌گیری است*» در حقیقت اهمیت موضوع اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

یکای (واحد) اندازه‌گیری: یکی از جنبه‌های مشترک بین همهٔ اندازه‌گیری‌ها وجود یک یکای اندازه‌گیری است. با انجام هریک از اندازه‌گیری‌هایی که در جدول اندازه‌گیری‌ها درج کرده‌اید، یک عدد به‌دست می‌آید. برای مثال ممکن است در آن جدول برای بلندی قامت یک فرد ۱/۷۲ متر یا برای طول یک اتاق ۸ قدم و یا برای فاصلهٔ بین دو شهر ۱۰۷km به‌دست آمده باشد. یقیناً می‌دانید که در هر مورد، عدد گزارش شده بیان می‌کند که *مقدار* کمیت موردنظر چند *برابر مقدار کمیتی است از همان جنس که به‌عنوان مقیاس انتخاب شده است*. این مقیاس را **یکا** (یا واحد) آن کمیت می‌نامند.

فعالیت ۱ــ۳

با انتخاب یک یکای طول (مثل کتاب)، طول یک نیمکت را اندازه بگیرید. طول نیمکت چند برابر طول کتاب است؟ این اندازه‌گیری را با یکاهای دیگری چون مداد و وجب انجام دهید و نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

یکا	طول نیمکت (یا هرچیز دیگری که موردنظر شماست)
طول یک کتاب	
طول یک مداد	
طول یک وجب	

چرا برای طول نیمکت اعداد متفاوتی به‌دست آورده‌اید؟ دلیل این اختلاف چیست؟
به‌نظر شما برای آن که همه اندازه‌گیری‌ها، طول یکسانی را برای نیمکت بدهند، چه باید کرد؟

بنابراین شما نیز دریافته‌اید که برای آن که نتیجهٔ همهٔ اندازه‌گیری‌هایی که برروی یک کمیت انجام می‌شود یکسان باشد، باید از یکای یکسانی استفاده کنیم.

دانشمندان برای آن که رقم‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف یک کمیت با هم مقایسه‌پذیر باشند، در نشست‌های بین‌المللی توافق کرده‌اند که برای هر کمیت، یکای معینی تعریف کنند.

فعالیت ۱ـ۴

با بحث و تبادل‌نظر گروهی در کلاس خود سعی کنید نکته‌هایی را که باید در انتخاب یکاهای بین‌المللی مورد توجه قرار داد، مشخص کنید. نتیجهٔ کار خود را با مقایسه با نتیجهٔ گروه‌های دیگر تکمیل کنید.

دانشمندان با انجام چنین بررسی‌هایی نتیجه گرفته‌اند که :

یکای هر کمیت باید به گونه‌ای انتخاب شود که در شرایط فیزیکی تعیین شده تغییر نکند و در دسترس باشد. یکی از مجموعه یکاهای مورد توافق بین‌المللی را به اختصار مجموعه یکاهای SI می‌نامند. [1]

یکاهای اصلی: در عمل نیازی نیست که برای هریک از کمیت‌های فیزیکی یکایی تعریف شود. برای مثال، اگر واحد طول تعریف شده باشد، دیگر لازم نیست برای مساحت یکای مستقلی تعریف شود ؛ بلکه می‌توانیم آن را تنها با اندازه‌گیری‌های طول و با استفاده از رابطه‌های هندسی محاسبه کنیم. برای نمونه مساحت مستطیل برابر است با حاصل‌ضرب طول ضلع بزرگ در طول ضلع کوچک. یعنی با اندازه‌گیری این طول‌ها برحسب متر، مساحت برحسب متر در متر یعنی متر مربع مشخص می‌شود.

آن دسته از کمیت‌هایی را که یکاهای آن‌ها به‌طور مستقل تعریف شده‌اند، **کمیت‌های اصلی** و یکاهای آن‌ها را **یکاهای اصلی** می‌نامند. سایر کمیت‌ها از قبیل مساحت، حجم و… **کمیت‌های فرعی** نام دارند. یکای کمیت‌های فرعی را می‌توان بر حسب یکاهای اصلی تعیین کرد. طول، جرم و زمان از جمله کمیت‌های اصلی در SI هستند که در ادامه یکای هریک را معرفی می‌کنیم.

یکای طول: یکای طول در SI، متر نام دارد (که آن را با نماد m نمایش می‌دهند). برای این طول (یک متر) نمونهٔ استانداردی ساخته شده است که در موزهٔ سور در فرانسه نگهداری می‌شود. این نمونه میله‌ای است از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم با دو علامت روی آن که فاصلهٔ بین آن‌ها در دمای صفر سلسیوس به‌طور دقیق برابر طول توافق شدهٔ بین‌المللی برای یک متر است. در مؤسسه‌های استاندارد همهٔ کشورها نمونه‌هایی مشابه این نمونهٔ استاندارد را تهیه و نگهداری می‌کنند.

یکای جرم: یکای جرم در SI، کیلوگرم نام دارد (که آن را با نماد kg نمایش می‌دهند). برای این یکا نیز یک نمونهٔ استاندارد به‌صورت استوانه‌ای از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم در موزهٔ سور فرانسه نگهداری می‌شود و کشورهای دیگر نیز مشابه این نمونه استاندارد را تهیه می‌کنند.

یکای زمان: یکای زمان در SI، ثانیه نام دارد (که آن را با نماد s نمایش می‌دهند). طبق یک تعریف قدیمی‌تر، یک ثانیه برابر $\frac{۱}{۸۶۴۰۰}$ یک شبانه‌روز [2] است.

۱ــ SI حرف اوّل واژه‌های فرانسوی Systeme International به معنای دستگاه بین‌المللی است.

۲ــ امروزه در نشست‌های کمیتهٔ بین‌المللی وزن‌ها و مقدارها، برای ثانیه تعریف بسیار دقیق‌تری ارائه شده است که همراه با تعریف دقیق متر و کیلوگرم در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک با آن آشنا خواهید شد.

یکای کمیت‌های فرعی: پیش از این دیدیم که نیازی به معرفی یک یکای مستقل برای مساحت نیست ؛ زیرا مساحت معمولاً با اندازه‌گیری دو طول و به کمک یک رابطهٔ هندسی محاسبه می‌شود. در نتیجه یکای آن در SI متر مربع (m^2) است. به‌همین ترتیب می‌توانیم یکای هر کمیت فرعی دیگر را با استفاده از رابطه یا رابطه‌های آن کمیت با کمیت‌های اصلی و یا با کمیت‌های فرعی دیگری که یکای آن‌ها قبلاً معرفی شده است، تعریف کرد. از این پس با هر کمیت فرعی که مواجه شویم، یکای آن را نیز معرفی خواهیم کرد.

یکای مناسب برای کمیت‌های خیلی بزرگ یا خیلی کوچک: دیدیم که برای اندازه‌گیری طول، یکای متر انتخاب شده است. در بیش‌تر موارد، طولی را که اندازه‌گیری می‌کنیم، یا کوچک‌تر از متر است و یا مضرب صحیحی از یک متر نیست. در این‌گونه موارد چه باید کرد؟ یا وقتی جرم جسمی را اندازه‌گیری می‌کنیم، جرم آن می‌تواند کوچک‌تر از یک کیلوگرم و یا مضرب صحیحی از آن نباشد. همان‌گونه که به‌نظر می‌رسد، باید یکاهای کوچک‌تری را نیز تعریف کنیم.

در SI یکاهای کوچک‌تر را با تقسیم یکای مربوط به ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ... قسمت به‌دست می‌آورند. برای مثال متر را به صد قسمت تقسیم می‌کنند و هر قسمت آن را یک سانتی‌متر می‌نامند. به‌همین ترتیب وزنه‌ای که جرم آن $\frac{1}{1000}$ کیلوگرم است، وزنهٔ یک گرمی نام دارد. برای یکاهای بزرگ‌تر نیز مضرب‌های ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ... برابر یکای مربوط را در نظر می‌گیرند. این یکاهای کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر را توسط پیشوندی که به یکای مربوط اضافه می‌شود، نامگذاری می‌کنند. این پیشوندها در جدول ۱ـ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱ـ۱

پیشوند	مضرب	نماد	پیشوند	مضرب	نماد
دسی	$\frac{1}{10}=10^{-1}$	d	دکا	10	da
سانتی	$\frac{1}{100}=10^{-2}$	c	هکتو	100	h
میلی	$\frac{1}{1000}=10^{-3}$	m	کیلو	1000	K
میکرو	$\frac{1}{10^6}=10^{-6}$	µ	مگا	10^6	M
نانو	$\frac{1}{10^9}=10^{-9}$	n	گیگا	10^9	G
پیکو	$\frac{1}{10^{12}}=10^{-12}$	p	ترا	10^{12}	T

تمرین ۱ــ۱

با استفاده از جدول ۱ــ۱ حساب کنید :

الف ــ ۵ کیلومتر چند سانتی‌متر است؟

ب ــ ۳۰ ثانیه چند نانو ثانیه است؟

پ ــ ۳ گرم چند میکروگرم است؟

نمادگذاری علمی: در پاره‌ای از اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سروکار داریم. مثلاً فاصلهٔ زمین تا خورشید حدود ۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰km (یکصد و پنجاه میلیون کیلومتر) و یا ۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰m (یکصد و پنجاه میلیارد متر) است. یا مثلاً جرم یک ذره برابر ۰/۰۰۰۰۰۰۱۲ گرم به‌دست آمده است. برای نوشتن جرم یک الکترون برحسب کیلوگرم باید بعد از ممیز ۳۰ صفر قرار داد و پس از آن رقم ۹۱۰۹ را نوشت. بدیهی است که نوشتن چنین عددهایی به‌صورت اعشاری و یا با صفرهای زیاد، علاوه بر آن که خواندن و نوشتن را مشکل می‌کند، احتمال اشتباه را هم زیاد می‌کند. از این رو با استفاده از روشی که آن را نمادگذاری علمی می‌نامند، نوشتن و محاسبهٔ مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک را ساده می‌کنند.

در نمادگذاری علمی هر مقدار را به‌صورت حاصل ضرب عددی بین ۱ و ۱۰ و توان صحیحی از ۱۰ می‌نویسند. به‌عنوان مثال فاصلهٔ زمین تا خورشید به‌صورت $۱/۵\times۱۰^{۸}$km و یا $۱/۵\times۱۰^{۱۱}$m و جرم یک ذره ۰/۰۰۰۰۰۰۱۲g به‌صورت $۱/۲\times۱۰^{-۶}$g یا $۱/۲\times۱۰^{-۹}$kg و جرم الکترون به‌صورت $۹/۱۰۹\times۱۰^{-۳۱}$kg نوشته می‌شود. (درمورد اعداد اعشاری به تعداد شماره‌هایی که ممیز به جلو آورده شده است، برای ده نمای منفی گذارده می‌شود.)

مثال ۱ــ۱

اعداد زیر را با استفاده از نمادگذاری علمی بنویسید.

الف ــ ۵۲۸۰

ب ــ ۸۷۲۰۰۰

پ ــ ۰/۰۰۲۱۵

ت ــ ۰/۰۴۰۵۱۰

ث ــ ۱۰۰۰

ج ــ ۰/۰۰۰۱

حل: با رعایت شیوهٔ نمادگذاری علمی به‌ترتیب داریم :

الف ــ $۵۲۸۰ = ۵/۲۸ \times ۱۰^{۳}$

ب ــ $۸۷۲۰۰۰ = ۸/۷۲ \times ۱۰^{۵}$

پ ــ $۰/۰۰۲۱۵ = ۲/۱۵ \times ۱۰^{-۳}$

ت ــ $۰/۰۴۰۵۱۰ = ۴/۰۵۱ \times ۱۰^{-۲}$

ث ــ $۱۰۰۰ = ۱ \times ۱۰^{۳}$

ج ــ $۰/۰۰۰۱ = ۱ \times ۱۰^{-۴}$

تمرین ۱ــ۲

جای خالی را در هریک از تساوی‌های زیر پر کنید.

الف ــ .... = $۰/۷۳ \times ۱۰^{۴}$

ب ــ ....$۵۴۰۰۰۰۰۰ = ۵/۴ \times$

پ ــ .... = $۰/۱۷۳ \times ۱۰^{-۳}$

ت ــ ....$۰/۰۶۲۵ \times ۱۰^{-۴} = ۶/۲۵ \times$

تمرین ۱ــ۳

با استفاده از جدول ۱ــ۱ و شیوهٔ نمادگذاری علمی، ۱۲۵ متر را برحسب میکرون (میکرومتر) بنویسید.

وسیله و روش اندازه‌گیری

اندازه‌گیری‌ها در فیزیک توسط وسیله‌هایی انجام می‌شود که معمولاً با توجه به کمیّت مورد اندازه‌گیری انتخاب و یا طراحی می‌شوند و هریک روش استفادهٔ خاص خود را دارند. برای مثال، وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری ضخامت یک برگ کاغذ مناسب است مسلماً برای اندازه‌گیری طول حیاط مدرسه مناسب نیست.

وسیلهٔ اندازه‌گیری طول: در اندازه‌گیری طول‌های نه‌چندان بزرگ و نه‌چندان کوچک از یک خط‌کش یا متر نواری که برحسب میلی‌متر یا سانتی‌متر مدرج شده باشد، استفاده می‌کنند.

فعالیت ۱ـ۵

به‌همراه گروه خود :

۱ــ دربارهٔ روش و ابزار اندازه‌گیری طول‌های بسیار بزرگ و بسیار کوچک تحقیق کنید.

۲ــ از آزمایشگاه دبیرستان، کولیس و ریزسنج بگیرید و چگونگی کار با این دو وسیله را بنویسید.

۳ــ هریک از موردهای زیر را بهتر است با چه ابزاری اندازه بگیریم؟

فاصله دو شهر، قطر یک سیم، ضخامت یک برگ کاغذ، بلندی موی سر، بلندی قد و ضخامت کتاب.

۴ــ ضخامت یک برگ کاغذ را اندازه بگیرید.

گزارش کار یک آزمایش چیست؟ گزارش کار همان‌گونه که از نامش برمی‌آید، شرح جزئیات و مرحله‌های انجام یک آزمایش است و باید حاوی نکته‌های زیر باشد :

۱ــ هدف از انجام آزمایش.

۲ــ نام آزمایشگر یا آزمایشگران (یا نام گروه).

۳ــ زمان و محل انجام آزمایش.

۴ــ وسیله‌های آزمایش همراه با شرح جزئیات و شکل.

۵ــ شرح روش یا روش‌های آزمایش به‌صورت کاملاً مجزا از هم و مرحله به مرحله.

۶ــ درج عددهای حاصل از اندازه‌گیری‌ها در جدول.

۷ــ درصورت لزوم، رسم نمودارهایی که چگونگی تغییرات کمیت مورد اندازه‌گیری را نشان دهد.

۸ــ عوامل ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها.

۹ــ نتیجه‌گیری.

۱۰ــ هر مطلب یا اطلاع دیگری که لازم باشد.

آزمایش ۱ـ۱

مساحت روی جلد کتاب فیزیک ۲ را اندازه بگیرید و آن را برحسب m^2, cm^2, mm^2 بنویسید. گزارش کار آزمایش مربوط را بنویسید.

وسیلهٔ اندازه‌گیری جرم: جرم را معمولاً با ترازوی شاهین‌دار یا ترازوی دو کفه‌ای اندازه می‌گیرند. شکل (۱ـ۱) یک‌ترازوی‌شاهین‌دار معمولی‌آزمایشگاه را نشان‌می‌دهد.



شکل ۱ـ۱ ـ ترازوی شاهین‌دار

شاهین ترازو از وسط روی تیغهٔ کاردکی قرار می‌گیرد که برروی پایه‌ی ترازو نصب شده است. دو کاردک هم در دو طرف شاهین به فاصله‌های مساوی از کاردکِ وسط برای حمل کفه‌ها تعبیه شده‌اند. هنگامی که کفه‌ها خالی‌اند، نوک عقربهٔ ترازو درست در مقابل صفر صفحهٔ مدرج قرار می‌گیرد و موازنهٔ دو کفه را نشان می‌دهد.

هرگاه جرم‌هایی که روی کفه‌ها قرار می‌دهیم با هم برابر باشند، عقربه در مقابل صفر قرار می‌گیرد. در حالی که اگر جرم روی یکی از کفه‌ها سنگین‌تر باشد، آن کفه پایین‌تر قرار می‌گیرد و شاهین ترازو را نیز در همان طرف به سمت پایین متمایل می‌کند.

با هر ترازو تعدادی جرم معلوم به نام وزنه (که معمولاً در جعبهٔ وزنه‌ها به‌ترتیب چیده می‌شوند) همراه است. این وزنه‌ها را معمولاً با یک انبرک مخصوص جابه‌جا می‌کنند تا چربی و ذرات ریز گردوغبار که ممکن است روی انگشتان دست باشد به آن‌ها نچسبد و جرم آن‌ها را تغییر ندهد. برای تعیین جرم یک جسم به کمک ترازو، مرحله‌های زیر را باید انجام داد :

۱ـ ابتدا صفر ترازو را تنظیم می‌کنیم (این کار توسط پیچ‌هایی که در دو سر شاهین تعبیه شده‌اند، انجام می‌شود) به‌طوری که وقتی کفه‌ها خالی‌اند، عقربه در مقابل صفر بایستد.

۲ـ جسم موردنظر را به آرامی در یک کفهٔ ترازو قرار می‌دهیم و در کفهٔ دیگر (با استفاده از انبرک) آن‌قدر وزنه می‌گذاریم تا تعادل برقرار شود (در این حالت شاهین دوباره افقی می‌شود و عقربه بار دیگر در مقابل صفر می‌ایستد).

در این صورت جرم جسم با جرم وزنه‌ها برابر است.

آزمایش ۱ـ۲

جرم یک سیب، یک عینک و یک خط‌کش را توسط ترازو چندبار اندازه بگیرید و گزارش کار آزمایش را بنویسید.

وسیلهٔ اندازه‌گیری زمان: وسیلهٔ متداول برای اندازه‌گیری زمان ساعت است که به‌صورت‌های مختلف در همه‌جا موجود است.

فعالیت ۱ـ۶

با بحث و تبادل‌نظر گروهی توضیح دهید که چگونه می‌توان زمان نوسان (زمان یک رفت و برگشت کامل) یک آونگ را اندازه‌گیری کرد.

فعالیت ۱ـ۷

سنگی را به هوا پرتاب کنید. مدّت زمانی که سنگ در هواست را چگونه اندازه می‌گیرید؟ وسیله و روش اندازه‌گیری را شرح دهید.

وسیلهٔ اندازه‌گیری حجم مایع‌ها: حجم یک مایع را می‌توان با استفاده از پیمانه‌ها و یا ظرف‌های مدرج اندازه گرفت.

فعالیت ۱ـ۸

آزمایشی طراحی کنید که با کمک یک ترازو و یک استوانه مدرج جرم و حجم یک قطره آب را اندازه بگیرید. آزمایش را انجام دهید و گزارش کار خود را در کلاس ارائه نمایید.

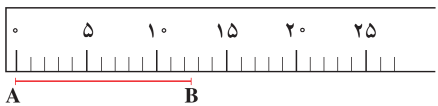
فعالیت ۱ـ۹

یک شیشهٔ نوشابه خالی داریم که بر روی آن حجم آن ثبت شده است. چگونه می‌توانید با استفاده از این شیشهٔ نوشابه حجم یک استکان آب را اندازه بگیرید؟ آیا این اندازه‌گیری دقیق است؟ توضیح دهید.

دقت اندازه‌گیری: آیا با خط‌کشی که برحسب میلی‌متر مدرج شده است، می‌توان طول‌های کمتر از یک میلی‌متر را اندازه گرفت؟ آیا با ساعتی که فقط عقربه‌های ساعت‌شمار و دقیقه شمار دارد می‌توان زمان‌های کمتر از یک دقیقه را اندازه گرفت؟

فرض کنید که می‌خواهید طول یک پاره‌خط معین مثلاً AB در شکل (۱ــ۲) را توسط یک خط‌کش میلی‌متری اندازه بگیرید. در خط‌کش میلی‌متری فاصلهٔ بین هر دو نشانهٔ متوالی برابر یک میلی‌متر است. برای این کار همان‌گونه که از شکل (۱ــ۲) پیداست، صفر خط‌کش را در نقطهٔ A قرار می‌دهیم. آنگاه رقمی که در مقابل انتهای پاره‌خط، یعنی در مقابل نقطهٔ B قرار می‌گیرد، برابر طول پاره‌خط AB است. در شکل، نقطهٔ B بین دو نشانه قرار گرفته است و نشان می‌دهد که طول پاره‌خط از ۱۲ میلی‌متر بیش‌تر و از ۱۳ میلی‌متر کمتر است. ولی اینکه چقدر بیش‌تر از ۱۲ میلی‌متر یا چقدر کمتر از ۱۳ میلی‌متر است، معلوم نیست.

به‌همین ترتیب با ساعتی که عقربهٔ ساعت‌شمار و دقیقه‌شمار دارد نمی‌توان زمان‌های کمتر از یک دقیقه را اندازه گرفت. برای تمام وسیله‌های اندازه‌گیری این محدودیت اندازه‌گیری وجود دارد. پاره‌ای از وسیله‌های اندازه‌گیری طول‌هایی تا $\frac{۱}{۱۰۰}$ میلی‌متر را اندازه می‌گیرند و طول‌های کمتر از آن را نمی‌توانند اندازه بگیرند. پاره‌ای از زمان‌سنج‌های رقمی (دیجیتالی) تا $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ ثانیه را اندازه می‌گیرند. بنابراین، برای هر وسیلهٔ اندازه‌گیری کم‌ترین مقداری وجود دارد که کوچک‌تر از آن را نمی‌تواند اندازه بگیرد.



شکل ۱ــ۲ــ اندازه‌گیری طول پاره‌خط با خط‌کش میلی‌متری

کم‌ترین مقداری را که یک وسیله می‌تواند اندازه بگیرد، دقت اندازه‌گیری با آن وسیله می‌نامند. در اندازه‌گیری‌ها، عدد به‌دست آمده نباید مقداری کم‌تر از دقت اندازه‌گیری وسیله را نشان بدهد. برای مثال، اگر طول پاره‌خطی با خط‌کش میلی‌متری اندازه گرفته می‌شود، طول پاره‌خط برحسب میلی‌متر با یک عدد صحیح مثلاً ۱۲ میلی‌متر بیان می‌شود. به‌عنوان مثال با این خط‌کش نمی‌توان طول پاره‌خط را با عددهایی نظیر ۱۲/۱ یا ۱۲/۲ میلی‌متر بیان کرد.

تمرین ۱ـ۴

دقت اندازه‌گیری پیمانه‌ای به حجم ۵ سانتی‌متر مکعب چقدر است؟ کدام یک از عددهای زیر می‌تواند نتیجهٔ اندازه‌گیری با این پیمانه باشد؟

الف ــ $۲۰cm^۳$ ب ــ $۲۱cm^۳$

پ ــ $۱۹cm^۳$ ت ــ $۲۰/۵cm^۳$

عبدالرحمان خازنی

ابومنصور ابوالفتح عبدالرحمان خازنی، ریاضیدان و دانشمند حوزهٔ علم‌الحیل (مکانیک) و یکی از ستاره‌شناسان قرون ۵ و ۶ ایران است. دربارهٔ تاریخ ولادت و فوت این دانشمند بزرگ اطلاع دقیقی در دست نیست ولی گفته می‌شود که وفات او بعد از سال ۵۲۵ قمری اتفاق افتاده است. او در مرو می‌زیست و در همین شهر به دانش‌آموزی پرداخت و با جهد بسیار در حوزهٔ دانش پیشرفت نمود. چنان‌که در عهد ملکشاه سلجوقی در شهر مرو از ریاضی‌دانان و منجمان بزرگ به شمار می‌رفت. وی کتاب مشهور خود در نجوم، زیج معتبر سنجری، را در روزگار پادشاهی سلطان سنجر تدوین کرد و بنا بر رسوم آن زمان کتاب را به نام سنجر، زیج معتبر سنجری نام‌گذاری نمود اما در مقابل چیزی از سلطان نپذیرفت.

از خازنی کتاب‌های زیر را می‌شناسیم :

۱ــ زیج معتبر سنجری یکی از آثار مهم نجوم دوره اسلامی

۲ــ رساله فی‌آلات العجیبه الرصدیه

۳ــ رسالة الاعتبار در نجوم نظری

۴ــ میزان الحکمه، یکی از مهمترین آثار مربوط به دانش مکانیک دوره اسلامی

یکی از مهم‌ترین کارهای علمی خازنی طراحی و ساخت نوعی ترازو به نام ترازوی حکمت است که در نوع خود از جالب‌ترین وسایل ساخته شده به وسیله دانشمندان اسلامی به شمار می‌رود. برعکس شناخت امروزین ما از ترازو که با شنیدن نام آن، وسیله‌ای با یک یا دو کفه را مجسم می‌نماییم ترازوی حکمت (میزان الحکمه) از ۷ کفه تشکیل شده بوده است. این کفه‌ها در عین آن‌که پیچیدگی بسیاری به این وسیله می‌داده‌اند، باعث می‌شده‌اند دقت وسیله در سنجش اوزان بالا رود به طوری‌که امروزه ثابت شده است با ترازوی حکمت می‌توان جرم اجسام را تا دقت یک دهم گرم تعیین کرد.

در کتاب میزان الحکمه خازنی که یکی از جالب‌ترین آثار علم‌الحیل مربوط به دورهٔ اسلامی است شکل، روش ساخت و روش کار با حدود ۵۰ وسیله مکانیکی شرح داده شده است. در این کتاب او به مباحثی مانند مرکز ثقل، سنگینی و سبکی، قوانین تعادل مایع‌ها و بسیاری مسائل دیگر پرداخته است.

امروزه ثابت شده است خازنی عضو گروهی بوده است که به فرمان سلطان ملکشاه سلجوقی در حدود سال ۴۷۰ قمری مأمور اصلاح تقویم در ایران شدند. مأموریت این افراد باعث طراحی و ساخت تقویم جلالی شد که از جمله دقیق‌ترین و معتبرترین تقویم‌های دنیا به شمار می‌رود.

۱ـ۵ـ کمیت‌های فیزیکی

دیدیم که فیزیک دانش بررسی کمیت‌های قابل اندازه‌گیری است. بنابراین می‌توان گفت که هر کمیتی که در فیزیک مطرح می‌شود، باید قابل اندازه‌گیری باشد. با توجه به آن‌چه که در مورد اندازه‌گیری خواندیم، می‌توانیم بگوییم که **تعریف یک کمیّت فیزیکی هنگامی کامل می‌شود که برای آن یک یکای مناسب و یک روش اندازه‌گیری تعریف کرده باشیم.**

کمیت‌های فیزیکی به دو دستهٔ متمایز نرده‌ای و برداری تقسیم می‌شوند.

کمیت‌های نرده‌ای: چهار پیمانهٔ ۲۰۰ سانتی‌متر مکعبی آب درون سطلی می‌ریزیم. حجم آب درون سطل چه‌قدر است؟ اگر دو پیمانهٔ دیگر آب به سطل بیفزاییم، حجم آب چه‌قدر خواهد شد؟

پاسخ هر بند این پرسش تنها با یک عدد به‌طور کامل بیان می‌شود. کمیت‌هایی مانند حجم با این ویژگی که برای مشخص شدن آن‌ها برحسب یک یکای معین، تنها یک عدد کفایت می‌کند **نرده‌ای** نام دارند.

محاسبه‌های ریاضی این‌گونه کمیت‌ها نظیر جمع یا تفریق، از قاعده‌های متداول در حساب پیروی می‌کنند. در پاسخ به بخش دوم پرسش بالا شما به سادگی حجم افزوده شده را با حجم قبلی جمع کردید.

برخی از کمیت‌های نرده‌ای که تاکنون با آن‌ها آشنا شده‌اید عبارتند از: انرژی، دما، جرم و زمان. در مقابل، کمیت‌های دیگری نیز در فیزیک داریم که تنها با ذکر مقدار آن‌ها برحسب یک یکای معین، به‌طور کامل مشخص نمی‌شوند.

تصور کنید در حالی که چشمان خود را بسته‌اید، از دوستتان که در جایی ایستاده است بخواهید یک قدم بردارد. آیا می‌توانید همچنان با چشمان بسته بگویید که او پس از این حرکت در کجا ایستاده است؟ مطمئناً پاسخ شما منفی است. او ممکن است با این یک قدم به شما نزدیک‌تر یا

دورتر شده باشد. یا حتی فاصله‌اش با شما هیچ تغییری نکرده باشد (چگونه؟) به‌عبارت دیگر جابه‌جایی او می‌تواند در هر راستا و سویی باشد. تنها درصورتی می‌توانید از مکان آخری او با اطلاع شوید که علاوه بر فاصله‌ای که او باید جابه‌جا شود، جهت (راستا و سوی) جابه‌جا شدن او را هم مشخص کنید. مثلاً بگویید یک قدم به سوی من یا به طرف جنوب یا جنوب شرق و یا ... بردارد.

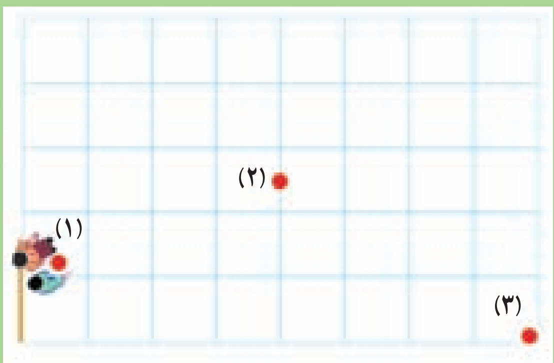
جابه‌جایی: در فیزیک، کمیتی به نام جابه‌جایی تعریف می‌کنیم و همان‌طور که از نام آن برمی‌آید، معرف تغییر مکان یک جسم است. **جابه‌جایی یک جسم، پاره‌خط جهت‌داری است که ابتدای آن مکان آغازی و انتهای آن مکان پایانی جسم و طول آن مقدار تغییر مکان است.** همان‌طور که دیدیم تنها با دانستن مقدار جابه‌جایی نمی‌توانیم آن را به‌طور کامل مشخص کنیم، بلکه باید جهت (یعنی راستا و سوی) آن را نیز بدانیم.

جابه‌جایی‌های مساوی: یک دسته سرباز را در حال رژه رفتن مجسم کنید. جابه‌جایی آن‌ها را در یک بازهٔ زمانی معین رسم کنید. مجموعه‌ای از پاره‌خط‌های موازی و مساوی و هم‌سو به‌دست می‌آورید. در این حالت می‌گوییم که این سربازها جابه‌جایی مساوی داشته‌اند. به‌عبارت دیگر **دو جابه‌جایی را وقتی برابر می‌گویند که به یک اندازه و در یک جهت (یک راستا و یک‌سو) باشند.**

جابه‌جایی‌ها چگونه با هم جمع می‌شوند؟

فعالیت ۱ــ۱۰

روی یک صفحهٔ کاغذ شطرنجی، با انتخاب مقیاس مناسب شکل حیاط مدرسه یا خانهٔ خود را بکشید. نزدیک محلّ در ورودی حیاط را با شمارهٔ ۱ و وسط حیاط را با شمارهٔ ۲ و کنار دیوار عمود بر در ورودی را با شمارهٔ ۳ مشخص کنید. با این کار شما شکلی مشابه شکل ۱ــ۳ــ الف به‌دست آورده‌اید. سپس از دوست خود بخواهید که از محلّ شمارهٔ ۱ به محل شمارهٔ ۲ برود. بردار جابه‌جایی او را در شکل رسم کنید. (این جابه‌جایی پاره‌خط جهت‌داری است که



شکل ۱ــ۳ــ الف

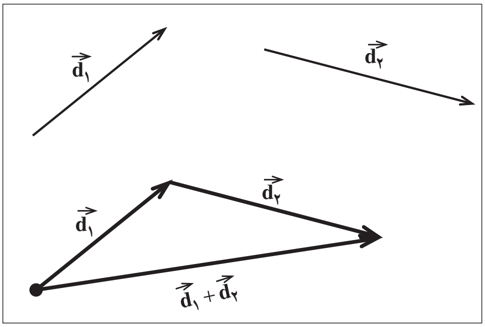
ابتدایش نقطهٔ ۱ و انتهایش نقطهٔ ۲ است). نام این جابه‌جایی را d_1 بگذارید. سپس از او بخواهید که از محل شمارهٔ ۲ به محلّ شمارهٔ ۳ برود. این جابه‌جایی را نیز در شکل رسم کنید و آن را d_2 بنامید. جابه‌جایی کل دوست شما d_3 (از نقطهٔ ۱ به نقطهٔ ۳) چگونه است؟ آیا طول d_3 با مجموع طول‌های d_1 و d_2 برابر است؟ اگر نیست پس دو جابه‌جایی d_1 و d_2 را چگونه با هم جمع کنیم تا d_3 به‌دست آید؟

با اندکی دقت در شکلی که از فعالیت بالا به‌دست آورده‌اید، درمی‌یابیم که برای یافتن حاصل جمع دو جابه‌جایی $\vec{d_1}$ و $\vec{d_2}$، مانند شکل ۱ــ۳ــ ب ابتدا جابه‌جایی $\vec{d_1}$ و سپس از انتهای آن جابه‌جایی $\vec{d_2}$ را رسم می‌کنیم. پاره‌خط جهت‌داری که ابتدای آن ابتدای $\vec{d_1}$ و انتهای آن انتهای $\vec{d_2}$ است، جابه‌جایی کل یا حاصل جمع دوجابه‌جایی را نشان می‌دهد.

جابه‌جایی، نمونه‌ای از یک کمیت *برداری* است. به این ترتیب، کمیت‌های برداری مانند جابه‌جایی‌ها با هم جمع می‌شوند. از این رو قاعدهٔ جمع جابه‌جایی‌ها را قاعدهٔ جمع برداری نیز می‌نامند.

کمیت‌برداری کمیتی است که بزرگی (مقدار) و جهت (راستا و سو) دارد، و از قاعدهٔ جمع‌برداری پیروی می‌کند.

حاصل جمع چند بردار را **برایند آن بردارها (یا بردار برایند)** نیز می‌نامند.



شکل ۱ــ۳ــ ب

فعالیت ۱ــ۱۱

با توجه به برابری دو جابه‌جایی بنویسید که دو بردار چه وقت با هم مساویند؟

کمیت‌های برداری را با پاره‌خط‌های جهت‌دار (پیکان) نمایش می‌دهند. پیکان را هم‌جهت با بردار و طول آن را متناسب با بزرگی بردار درنظر می‌گیرند. در این کتاب کمیت‌های برداری را توسط پیکان کوچکی ($\rightarrow$) که بر روی نماد کمیت قرار می‌دهیم، مشخص می‌کنیم. مانند $\vec{d}$. بزرگی یک بردار را یا توسط دو خط قائم که در دو طرف نماد آن بردار می‌گذارند، مانند $|\vec{d}|$ و یا با نماد بدون پیکان آن مشخص می‌کنند، مانند d.

در این کتاب با کمیت‌های برداری دیگری از قبیل نیرو، سرعت، شتاب و ... آشنا خواهید شد که هریک را در جای خود معرفی خواهیم کرد.

خاصیت جابه‌جایی جمع برداری

جمع برداری **خاصیت جابه‌جایی** دارد. یعنی حاصل جمع دو بردار به ترتیب بردارها بستگی ندارد.

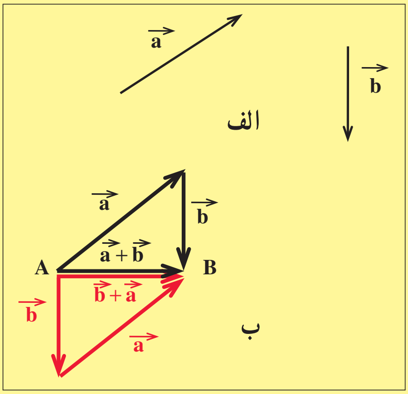
مثال ۱ــ۲

دانش‌آموزی با شروع از یک نقطهٔ معین دو جابه‌جایی پی‌درپی $\vec{a}$ و $\vec{b}$ انجام می‌دهد. مکان او را با رسم شکل در هریک از دو حالت زیر به‌دست آورید. هر دو حالت را در یک شکل رسم کنید.

الف ــ جابه‌جایی اول برابر $\vec{a}$ و جابه‌جایی دوم برابر $\vec{b}$.

ب ــ جابه‌جایی اول برابر $\vec{b}$ و جابه‌جایی دوم برابر $\vec{a}$.

حل: اگر مکان اولیهٔ دانش‌آموز نقطهٔ A در شکل (۱ــ۴) باشد، جابه‌جایی‌های بند الف را با رنگ سیاه و جابه‌جایی‌های بند ب را با رنگ قرمز، مطابق با قاعدهٔ جمع برداری جمع می‌کنیم. با رسم شکل و با توجه به ویژگی‌های هندسی متوازی‌الاضلاع درمی‌یابیم که در هر دو حالت، دانش‌آموز به یک نقطه (نقطهٔ B) رسیده است.



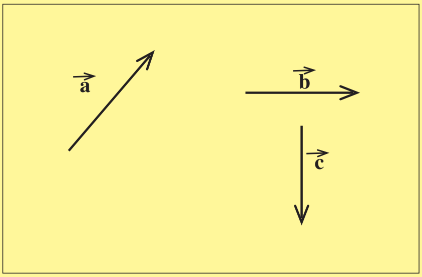
شکل ۱ــ۴ــ جمع برداری خاصیت جابه‌جایی دارد.

با دقت در شکل ۱ــ۴ درمی‌یابیم که قاعدهٔ جمع بردارها را به‌صورت زیر نیز می‌توانیم بیان کنیم :

برای یافتن برایند دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ می‌توانیم از یک نقطه دو بردار به ترتیب برابر بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ رسم کنیم. سپس متوازی‌الاضلاعی را که این دو بردار دو ضلع مجاور آن‌را تشکیل می‌دهد، کامل می‌کنیم. بردار برایند، قطری از متوازی الاضلاع است که نقطهٔ شروع دو بردار را به رأس روبه‌رو وصل می‌کند. این روش جمع دو بردار را قاعدهٔ متوازی‌الاضلاع برای جمع بردارها می‌نامند.

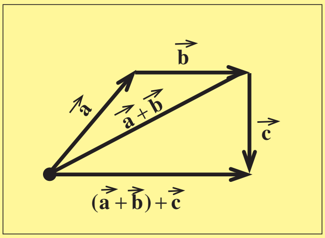
مثال ۱ـ۳

بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ و $\vec{c}$ را در شکل (۱ـ۵) درنظر بگیرید. بردار برایند آن‌ها را بدست آورید.



شکل ۱ـ۵

حل: ابتدا مطابق شکل (۱ـ۶) از انتهای بردار $\vec{a}$ برداری مساوی $\vec{b}$ رسم می‌کنیم. مطابق قاعدهٔ جمع‌برداری، $\vec{a} + \vec{b}$ برداری است که ابتدای آن ابتدای بردار $\vec{a}$ و انتهای آن انتهای بردار $\vec{b}$ است. سپس این بردار $\vec{a} + \vec{b}$ را با بردار $\vec{c}$ جمع می‌کنیم. یعنی از انتهای آن برداری مساوی $\vec{c}$ رسم می‌کنیم. بردار $(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c}$ برداری است که ابتدای آن ابتدای بردار $\vec{a} + \vec{b}$ و انتهای آن انتهای بردار $\vec{c}$ است.

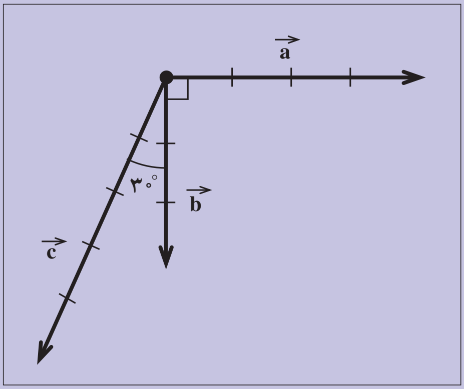


شکل ۱ـ۶

با حل این مثال درمی‌یابیم که برای جمع کردن چند بردار می‌توانیم به این ترتیب عمل کنیم که از انتهای بردار اول، برداری مساوی بردار دوم و از انتهای بردار دوم برداری مساوی بردار سوم و همین‌طور تا آخر رسم کنیم. بردار برایند، برداری است که ابتدای آن، ابتدای بردار اول و انتهای آن، انتهای بردار آخر است.

تمرین ۱ــ۵

در یک کاغذ میلی‌متری، با انتخاب مقیاس مناسب، بردارهایی مساوی بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ و $\vec{c}$ در شکل (۱ــ۷) رسم کنید. سپس بردار برایند این سه بردار را به‌دست آورید. بزرگی بردار برایند را با توجه به مقیاسی که انتخاب کرده‌اید، مشخص کنید.



شکل ۱ــ۷

فعالیت ۱ــ۱۲

نشان دهید اگر در تمرین (۱ــ۵) ترتیب بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ و $\vec{c}$ را در جمع عوض کنیم، تغییری در بردار برایند $\vec{R}$ به‌وجود نمی‌آید. این بررسی را برای همهٔ حالت‌های ممکن انجام دهید.

با این فعالیت ثابت کرده‌اید که :

$$\vec{c}+\vec{b}+\vec{a}=\vec{b}+\vec{c}+\vec{a}=\vec{c}+\vec{a}+\vec{b}=\vec{R} \qquad (۱ــ۱)$$

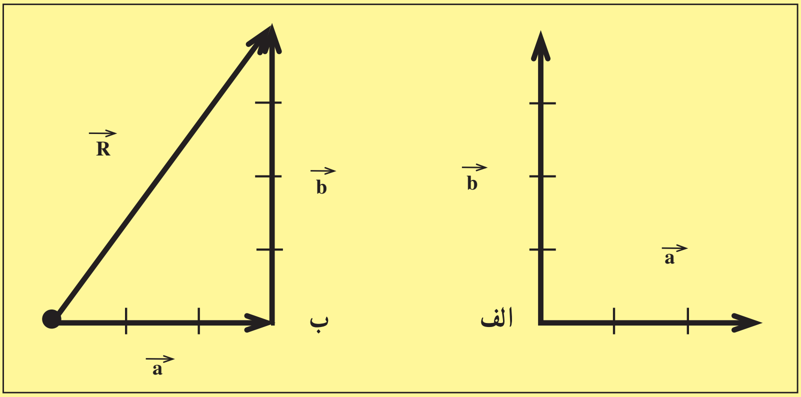
محاسبه بزرگی بردار برایند : در بعضی حالت‌های خاص می‌توان بدون رسم شکل و از راه محاسبه بزرگی بردار برایند را نیز به‌دست آورد.[۱]

اگر دو بردار بر هم عمود باشند $(\vec{a}+\vec{b})$، محاسبهٔ بزرگی بردار برایند آن‌ها به کمک قضیهٔ فیثاغورث امکان‌پذیر است. به مثال صفحه بعد توجه کنید.

۱ــ در این کتاب تنها محاسبهٔ بزرگی برایند بردارهایی مدنظر است که یا در یک راستا قراردارند و یا بر یک‌دیگر عمودند. برای تعیین برایند دو بردار که با یک‌دیگر زاویهٔ θ می‌سازند، **فقط** باید از خط‌کش و نقاله استفاده شود، لذا بیان هر رابطه به این منظور و ارزش‌یابی از آن **به طور کامل** خارج از برنامهٔ درسی این کتاب است.

مثال ۱ـ۴

برای دو بردار عمود برهم $\vec{a}$ و $\vec{b}$ در شکل (۱ـ۸ـ الف) داریم $a = ۳$ و $b = ۴$. برایند این دو بردار را به‌دست آورید. بزرگی برایند را با استفاده از شکل و همین‌طور با محاسبه به‌دست آورید.



شکل ۱ـ۸

حل: برای به‌دست آوردن بردار برایند $\vec{R}$، مطابق قاعدهٔ جمع برداری، در شکل (۱ـ۸ـ ب) عمل می‌کنیم. اگر بزرگی $\vec{R}$ را با خط‌کش اندازه بگیریم، $R = ۵$ به‌دست می‌آوریم.

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، $\vec{R}$ وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که ضلع‌های آن $\vec{a}$ و $\vec{b}$ است. بنابراین، می‌توانیم با استفاده از قضیهٔ فیثاغورث در مثلث قائم‌الزاویه بنویسیم:

$$R^۲ = a^۲ + b^۲ \qquad R = \sqrt{۹+۱۶} = ۵$$

باحل این مثال، درمی‌یابیم که بزرگی برایند دو بردار عمود برهم $\vec{a}$ و $\vec{b}$ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$R = \sqrt{a^۲ + b^۲} \qquad (۱\text{ـ}۲)$$

مثال ۱ـ۵

بردار برایند دو بردار هم‌جهت $\vec{a}$ و $\vec{b}$ را به‌دست آورید. بزرگی دو بردار را

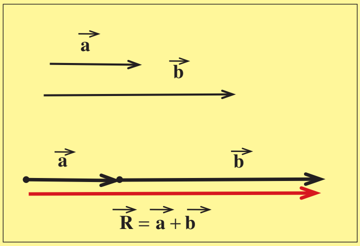
برابر $a = ۳$ و $b = ۴$ فرض کنید.

حل: مطابق شکل (۱ــ۹) ابتدا بردار $\vec{a}$ و سپس از انتهای آن بردار $\vec{b}$ را رسم می‌کنیم. چون دو بردار هم‌جهت‌اند، در امتداد هم روی یک خط قرار می‌گیرند. بردار برایند نیز همان‌گونه که در شکل پیداست روی همین خط قرار می‌گیرد. این بردار هم‌جهت با دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ است و بزرگی آن برابر مجموع بزرگی‌های دوبردار می‌شود.

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

چون دو بردار هم‌جهت هستند، داریم :

$$R = a + b = ۳ + ۴ = ۷$$



شکل ۱ــ۹

مثال ۱ــ۶

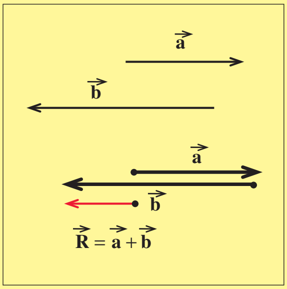
برایند بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ را که در خلاف جهت یکدیگر و بزرگی آن‌ها به‌ترتیب برابر با $a = ۳$ و $b = ۴$ است به‌دست آورید.

حل: مطابق شکل (۱ــ۱۰) از انتهای بردار $\vec{a}$ برداری مساوی $\vec{b}$ رسم می‌کنیم، در این مورد نیز $\vec{b}$ در همان راستای $\vec{a}$ ، ولی سوی آن مخالف آن است. بردار برایند همان‌گونه که در شکل پیداست روی همین خط قرار می‌گیرد و هم‌جهت با بردار بزرگ‌تر (یعنی بردار $\vec{b}$ در این مثال) است. بنابراین، بزرگی برایند برابر تفاضل بزرگی‌های دو بردار می‌شود.

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

چون دو بردار در خلاف جهت هم هستند، داریم :

$$R = |a - b| = |۳ - ۴| = ۱$$

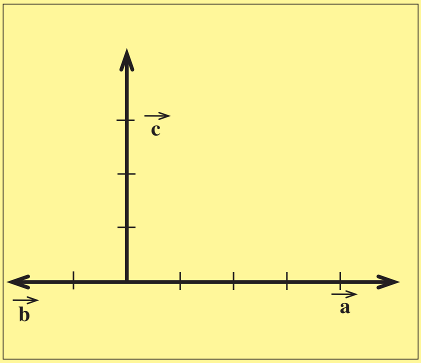


شکل ۱ــ۱۰

هرگاه بخواهیم چند بردار را با یکدیگر جمع کنیم، با توجه به این که ترتیب بردارها را می‌توانیم به هرصورت که بخواهیم تغییر دهیم، بهتر است اول برایند آن‌هایی را که با استفاده از حالت‌های خاص به‌طور ساده‌تر محاسبه می‌شوند، به‌دست آوریم.

مثال ۱ــ۷

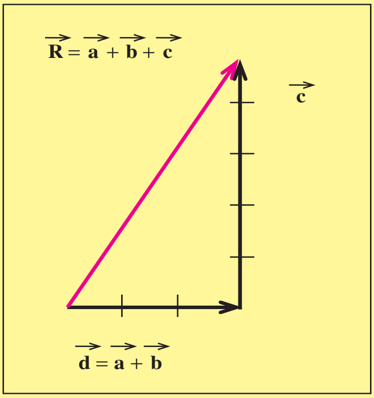
بردار برایند بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ و $\vec{c}$ در شکل (۱ــ۱۱) را رسم و بزرگی برایند را محاسبه کنید. فرض کنید اندازه بردارها $a=۵$، $b=۲$ و $c=۴$ باشد.



شکل ۱ــ۱۱

حل: برایند دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ را $\vec{d}$ می‌نامیم و ابتدا این برایند را به‌دست می‌آوریم. با استفاده از مثال (۱ــ۶)، $\vec{d}$ برداری است هم‌جهت با $\vec{a}$ $(a>b)$ و بزرگی آن برابر $۵-۲=۳$ واحد است.

اکنون برایند دو بردار $\vec{c}$ و $\vec{d}$ را مطابق شکل (۱ــ۱۲) به‌دست می‌آوریم.



شکل ۱ــ۱۲

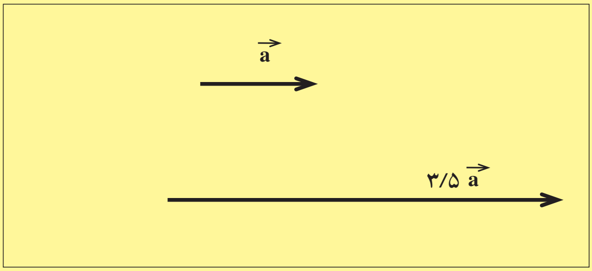
با استفاده از مثال (۱ــ۴) داریم:

$$R=\sqrt{d^۲+c^۲}=\sqrt{۹+۱۶}=\sqrt{۲۵}=۵$$

حاصل ضرب یک عدد در یک بردار: وقتی برداری را در عدد مثبتی مانند m ضرب می‌کنیم، جهت بردار حاصل با بردار اولیه یکی است و بزرگی آن m برابر بردار اول است.

مثال ۱ــ۸

بردار $\vec{a}$ در شکل (۱ــ۱۳) رسم شده است. بردار ۳/۵ $\vec{a}$ را رسم کنید.



شکل ۱ــ۱۳

حل: بردار ۳/۵ $\vec{a}$ هم‌جهت (همراستا و همسو) با بردار $\vec{a}$ و بزرگی آن ۳/۵ برابر بزرگی بردار $\vec{a}$ است.

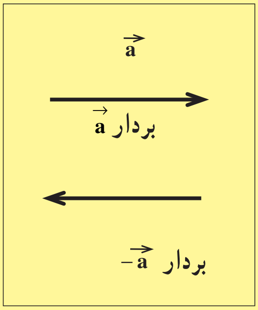
اگر برداری را در یک عدد منفی ضرب کنیم، بردار حاصل‌ضرب در خلاف جهت بردار اولیه خواهد شد و بزرگی بردار در قدرمطلق آن عدد ضرب می‌شود.

مثال ۱ــ۹

بردار $\vec{a}$ در شکل (۱ــ۱۴) رسم شده است.

بردار $-\vec{a}$ را رسم کنید. (این بردار را قرینهٔ بردار $\vec{a}$ نیز می‌گویند.)

حل: بردار $-\vec{a}$ همان‌گونه که از شکل پیداست، بـه بـزرگی بـردار $\vec{a}$ و در خـلاف‌جهت آن خـواهد بود.



شکل ۱ــ۱۴

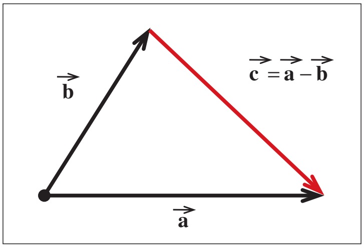
تفریق دو بردار: حاصل تفریق دو بردار نیز یک بردار است.

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{c}$$

$\vec{c}$ برداری است که اگر با $\vec{b}$ جمع شود بردار $\vec{a}$ به‌دست می‌آید، یعنی :

$$\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$$

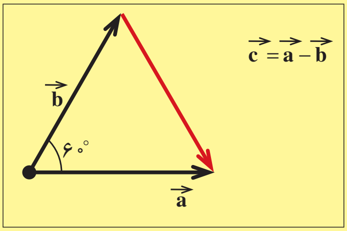
برای به‌دست آوردن $\vec{c}$ ، نخست دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ را مطابق شکل (۱ــ۱۵) از یک نقطه رسم می‌کنیم. برداری که ابتدای آن بر انتهای بردار $\vec{b}$ (عامل دوم تفریق) و انتهای آن بر انتهای بردار $\vec{a}$ (عامل اول تفریق) منطبق باشد، بردار $\vec{c}$ است.



شکل ۱ــ۱۵ــ حاصل تفریق دو بردار

مثال ۱ــ۱۰

دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ مطابق شکل (۱ــ۱۶) با یکدیگر زاویهٔ 60° می‌سازند و بزرگی آن‌ها با هم برابر است. بردار $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$ را به‌دست آورید و بزرگی آن را تعیین کنید.



شکل ۱ــ۱۶

حل: با توجه به شکل، بردار $\vec{c}$ برداری است که از انتهای $\vec{b}$ شروع و به انتهای $\vec{a}$ ختم می‌شود. بزرگی این بردار با توجه به آن که مثلث حاصل در شکل (۱ــ۱۶) متساوی‌الاضلاع است (چرا؟) برابر با بزرگی هریک از دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ است یعنی :

$$|\vec{c}| = |\vec{a} - \vec{b}|$$
$$= a$$
$$= b$$

۱ــ گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی بشر داشته است، دربارهٔ یکی از این تأثیرها تحقیق کنید.

۲ــ تحقیق کنید که آیا در مؤسسه‌های نزدیک به محل زندگی شما، کارکنانی با تخصص فیزیک کار می‌کنند یا نه؟ اگر پاسخ مثبت است، سمت و وظیفهٔ هریک را بنویسید.

۳ــ با استفاده از جدول ۱ــ۱ حساب کنید که ۰/۵۶ میکرون

الف ــ چند میلی‌متر

ب ــ چند متر

است؟ پاسخ خود را با استفاده از شیوهٔ نمادگذاری علمی بنویسید.

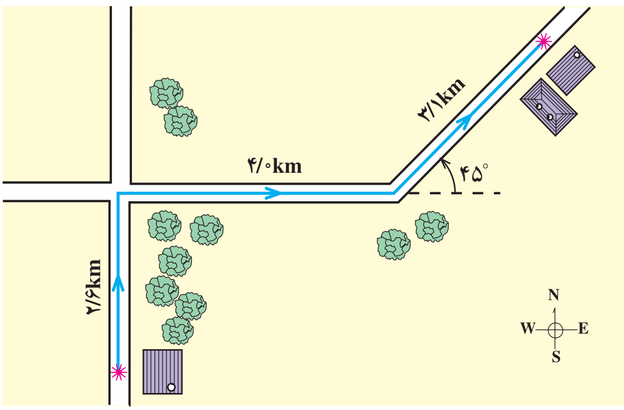
۴ــ با استفاده از جدول ۱ــ۱ حساب کنید که یک ساعت چند پیکو ثانیه است. پاسخ خود را با استفاده از شیوهٔ نمادگذاری علمی بنویسید.

۵ــ جرم یک سنجاق ته‌گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟

۶ــ ارتفاع یک برج را چگونه می‌توانید اندازه بگیرید؟

۷ــ یکی از راه‌های اندازه‌گیری عمق آب اقیانوس‌ها آن است که یک موج فراصوتی را از سطح آب به اعماق آب می‌فرستند، این موج با برخورد به کف اقیانوس به سطح آب باز می‌گردد و در سطح آب آشکارسازی می‌شود. با اندازه‌گیری بازهٔ زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی و با داشتن سرعت انتشار صوت در آب، فاصلهٔ سطح آب تا کف اقیانوس محاسبه می‌شود. اگر بازهٔ زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی ۱۴s و سرعت انتشار صوت در آب ۱۴۵۰m/s باشد، عمق آب اقیانوس را محاسبه کنید.

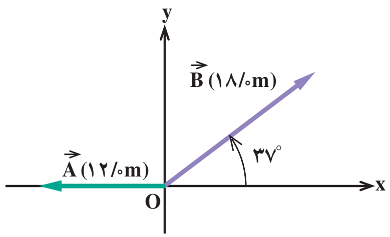
۸ــ یک پستچی از نقطهٔ شروع حرکت خود در شکل (۱ــ۱۷) مسیری را که در شکل نشان داده شده است می‌پیماید. بردار جابه‌جایی کل را با رسم نموداری با مقیاس مناسب به‌دست آورید.



شکل ۱ــ۱۷

۹ــ با رسم شکل، نشان دهید که عمل جمع‌برداری خاصیت انجمنی دارد، یعنی $(\vec{a}+\vec{b})+\vec{c}=\vec{a}+(\vec{b}+\vec{c})$.

۱۰ــ برای دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ در شکل (۱ــ۱۸)



شکل ۱ــ۱۸

الف ــ بردار $\vec{A}+\vec{B}$

ب ــ بردار $\vec{A}-\vec{B}$

را با رسم نمودار به‌دست آورید.

۱۱ــ شخصی ۸ متر به‌طرف شمال حرکت می‌کند و سپس جهت حرکت خود را عوض کرده و ۴ متر به طرف جنوب حرکت می‌کند. بزرگی و جهت بردار جابه‌جایی او چه‌قدر است؟

۱۲ــ بزرگی بردار $\vec{a}$ برابر ۲ و در جهت غرب به شرق است. بزرگی و جهت بردارهای زیر را تعیین کنید.

الف ــ $\vec{b}=-۲\vec{a}$

ب ــ $\vec{a}+\vec{b}$

پ ــ $\vec{a}-\vec{b}$

۲



جاده‌ای در تپه‌های جنوب سمنان

انسان‌ها از دیرباز، برای سهولت جابه جایی بین دو نقطه از جاده استفاده می‌کردند.

فصل

۲

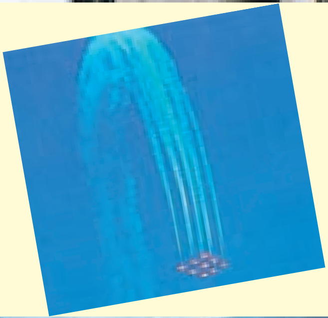
حرکت‌شناسی

هنگامی که در راه مدرسه به اطراف خود نگاه می‌کنید، حرکت‌های بسیاری را مشاهده می‌کنید. افرادی که از شما دور می‌شوند یا به شما نزدیک می‌شوند، اتومبیل‌هایی که در حرکت‌اند، پرندگانی که پرواز می‌کنند، برگی که از درخت می‌افتد و حرکت‌های بسیاری دیگر که هر روز مشاهده می‌کنید.









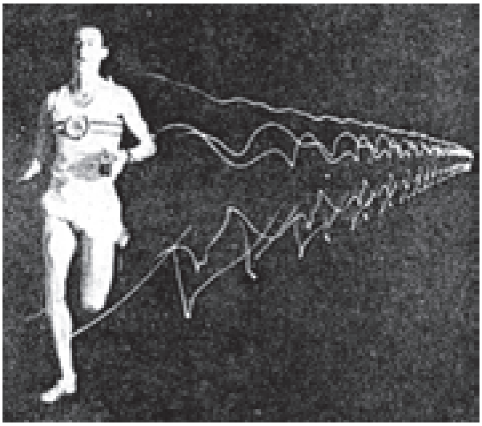




زمانی که حرکت‌هایی نظیر افتادن یک برگ از شاخهٔ درخت یا حرکت یک اتومبیل و مانند آن‌ها را مشاهده می‌کنیم گرچه ظاهراً جسمی را می‌بینیم که از جایی به جای دیگر حرکت می‌کند یا جابه‌جا می‌شود، ولی در بیش‌تر موارد همه بخش‌های جسم به یک اندازه جابه‌جا نشده‌اند و حرکت هر بخش ممکن است با حرکت بخش دیگر تفاوت داشته باشد. برای مثال، حرکت یک دوچرخه‌سوار را درنظر بگیرید (شکل ۲ ــ ۱ــ الف). اگرچه این حرکت ساده به‌نظر می‌رسد ولی با کمی توجه معلوم می‌شود که همین حرکت ساده بسیار پیچیده است. در حالی که دوچرخه‌سوار در مسیری مستقیم در حرکت است پای او بالا و پایین می‌رود و رکاب در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند. به‌همین ترتیب هریک از اجزای دوچرخه علاوه‌بر حرکت به‌همراه دوچرخه، خودشان نیز حرکت‌های دیگری دارند. بعضی از آن‌ها تندتر و بعضی دیگر کندتر در حرکتند.



الف



ب

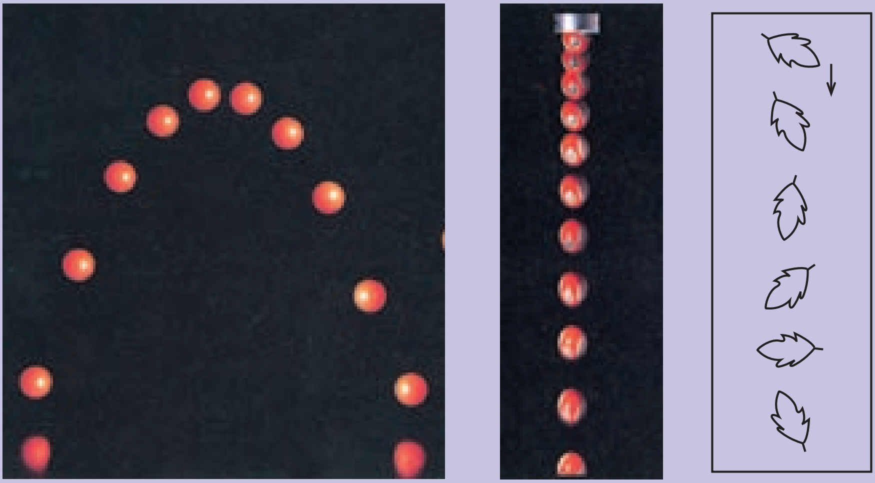
شکل ۲ ــ ۱

در شکل (۲ــ۱ــ ب) تصویری از یک دونده را می‌بینید. برای تهیه این تصویر، لامپ‌های کوچکی بر روی نقاط مختلفی از بدن دونده که مسیر حرکت آن مورد نظر است، نصب شده است و سپس در طول زمان حرکت از آن عکس‌برداری شده است. همان‌طور که دیده می‌شود هریک از اندام‌ها، حرکت پیچیده‌ای دارند.

این پیچیدگی‌ها، باعث می‌شود که بررسی و توصیف جزئیات حرکت‌هایی که به‌طور معمول با آن‌ها برخورد می‌کنیم، پیچیده و دشوار باشد. بررسی حرکت را از حالتی ساده یعنی حرکت یک جسم بدون درنظر گرفتن حرکت جداگانه هریک از اجزای آن شروع کنیم.

تمرین ۲ـ۱

در تصویر (الف) یک برگ، در تصویر (ب) یک گلوله کوچک در حال سقوط و در تصویر (پ) گلوله‌ای که به‌طور غیرقائم به بالا پرتاب شده است، دیده می‌شود. به‌نظر شما کدام یک از این حرکت‌ها ساده‌تر و بررسی کدام یک دشوارتر است؟ چرا؟



الف　　ب　　پ

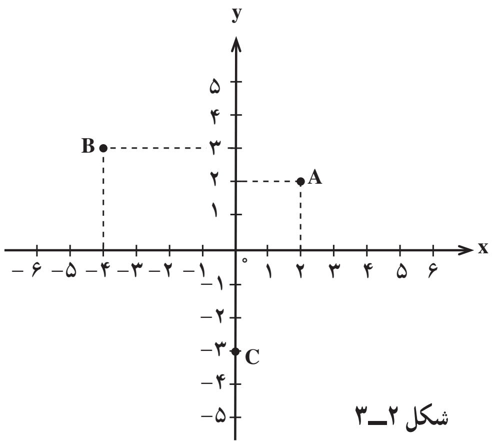
شکل ۲ـ۲

در ادامه، به‌منظور سهولت بررسی حرکت یک جسم و در جهت دست‌یابی به زبانی مشترک برای توصیف آن، به تعریف چند کمیت می‌پردازیم.

۲ـ۱ـ بردار مکان و بردار جابه‌جایی

برای توصیف و بررسی حرکت یک جسم باید بتوان معلوم کرد که آن جسم در هر زمانی در چه مکانی قرار دارد یا در چه زمانی به چه مکانی می‌رسد. همان‌طور که در درس ریاضی دیده‌اید، برای معرفی مکان یک نقطه می‌توان دستگاه مختصاتی اختیار کرد و مکان نقطه را در آن دستگاه معرفی کرد.

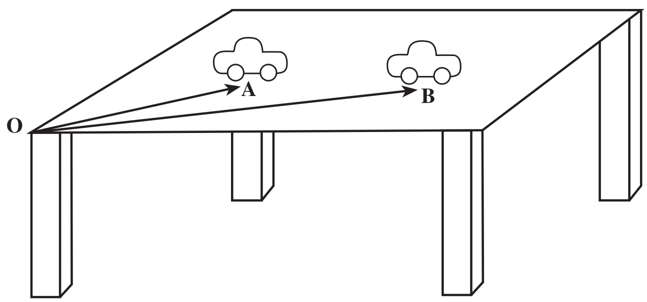
در شکل (۲ـ۳) مکان نقطه‌های $A(۲,۲)$ ، $B(-۴,۳)$ و $C(۰,-۳)$ در صفحه شکل نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۳

در بررسی حرکت یک جسم نیز، برای نشان دادن مکان جسم از دستگاه مختصات استفاده می‌کنیم.

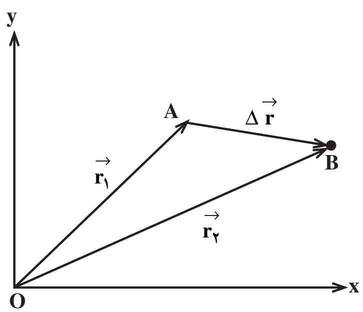
یک ماشین اسباب‌بازی را در نظر بگیرید که بر روی میزی حرکت می‌کند و در لحظهٔ t_1 (مثلاً ساعت ۱۰) در مکان A و در لحظهٔ t_2 (مثلاً ساعت ۱۰ و ۱ دقیقه) در مکان B قرار دارد. اگر یکی از گوشه‌های میز را مبدأ اختیار کنیم، مکان ماشین در دو لحظهٔ t_1 و t_2 را می‌توان مانند شکل (۲ــ۴) به‌ترتیب با بردار $\overrightarrow{OA}$ و بردار $\overrightarrow{OB}$ نشان داد. بردارهای $\overrightarrow{OA}$ و $\overrightarrow{OB}$ را به‌ترتیب بردار مکان در لحظه t_1 و بردار مکان در لحظهٔ t_2 می‌گوییم. بردار مکان، برداری است که مکان جسم را در هر لحظه مشخص می‌کند. ابتدای این بردار، مبدأ مختصات و انتهای آن مکان جسم است و معمولاً آن را با نماد $\vec{r}$ نشان می‌دهیم.



شکل ۲ــ۴

جابه‌جایی (یا تغییر مکان): جابه‌جایی یک متحرک بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 برداری است که ابتدای آن مکان متحرک در لحظهٔ t_1 و انتهای آن مکان متحرک در لحظهٔ t_2 باشد.

در شکل (۲ــ۵) بردار $\overrightarrow{AB}$ تفاضل دو بردار $\overrightarrow{OB}$ و $\overrightarrow{OA}$ است. یعنی $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$.



شکل ۲ــ۵

$\Delta \vec{r}$ بردار جابه‌جایی بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 (یا در بازه زمانی $\Delta t = t_2 - t_1$) است.

مثال ۲ـ۱

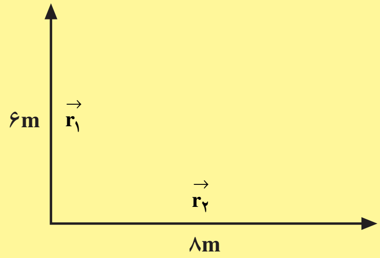
در شکل(۲ـ۶)، بردار مکان متحرکی در دو لحظهٔ t_1 و t_2 به‌ترتیب $\vec{r}_1$ و $\vec{r}_2$ است. اگر بزرگی هریک از بردارها به‌ترتیب ۶m و ۸m و زاویه بین آن‌ها °۹۰ باشد، بزرگی جابه‌جایی بین این دو لحظه چقدر است؟

حل: با توجه به شکل (۲ـ۷)، بردار جابه‌جایی یعنی $\Delta \vec{r}$ وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که بزرگی اضلاع آن ۶m و ۸m است.

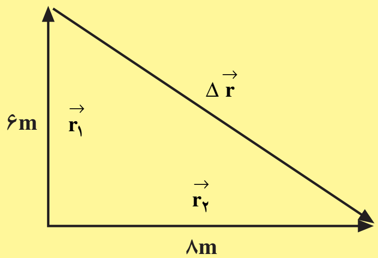
بنابراین بزرگی جابه‌جایی برابر با :

$$\Delta r = \sqrt{۳۶+۶۴} = \sqrt{۱۰۰} = ۱۰ \ \text{m}$$

است.



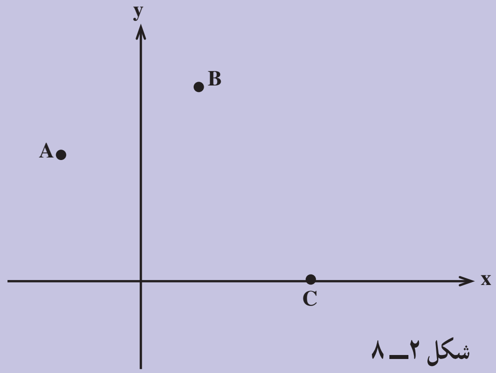
شکل ۲ـ۶



شکل ۲ـ۷

تمرین ۲ـ۲

در شکل (۲ـ۸) متحرکی در لحظه‌های t_1 ، t_2 و t_3 به‌ترتیب از نقطه‌های A، B و C عبور کرده است. بردارهای مکان را در لحظه‌های t_1، t_2 و t_3 و بردارهای جابه‌جایی را بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 و بین دو لحظهٔ t_2 و t_3 و بین دو لحظهٔ t_1 و t_3 رسم کنید.

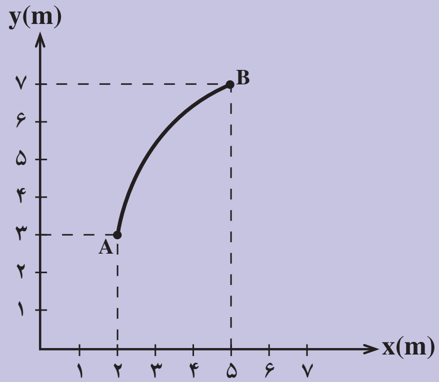


شکل ۲ـ۸

تمرین ۲ــ۳

درشکل (۲ــ۹)، مسیر حرکت متحرکی به‌صورت منحنی $\overset{\frown}{AB}$ نشان داده شده است.

بردار جابه‌جایی بین دو نقطه A و B را رسم کنید و بزرگی آن را به‌دست آورید.



شکل ۲ــ۹

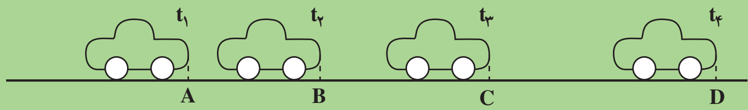
۲ــ۲ــ حرکت بر روی خط راست

این نوع حرکت، یکی از ساده‌ترین انواع حرکت است. در این حرکت، مسیر خط راست است. در حرکت بر روی خط راست اگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنیم، بردارهای مکان و بردارهای جابه‌جایی هم‌راستا هستند و این سبب می‌شود که محاسبه بر روی این بردارها به سادگی انجام پذیرد.

فعالیت ۲ــ۱

متحرکی نظیر یک اتومبیل را درنظر بگیرید که در مسیری به شکل خط راست در حرکت است. شکل (۲ــ۱۰) این اتومبیل را در لحظه‌های t_1 ، t_2 ، t_3 و t_4 در مکان‌های A، B، C و D بر روی مسیر نشان می‌دهد. شکل را مجدداً روی صفحه کاغذ رسم کنید.

یک بار مبدأ را در خارج از مسیر و بار دیگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنید و در هریک از دو حالت بردارهای مکان را رسم کنید. به نظر شما در حرکت بر روی خط راست با معلوم بودن بزرگی بردار مکان در هر یک از دو لحظهٔ t_1 و t_2 محاسبه بزرگی بردار جابه‌جایی در کدام حالت ساده‌تر است؟ چرا؟



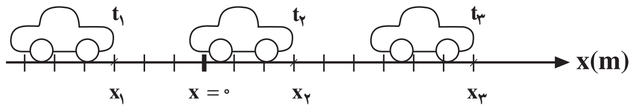
شکل ۲ــ۱۰

تمرین ۲ــ۴

در حرکت بر روی خط راست، بردارهای جابه‌جایی در بازه‌های زمانی متفاوت از نظر راستا و سو نسبت به هم چه وضعی دارند؟

اگر یکی از محورهای مختصات (ox یا oy) را به‌عنوان مسیر حرکت در نظر بگیرید، می‌توانید مکان متحرک را در هر لحظه به‌وسیلهٔ مختصه آن (مثلاً مختصه x) که عددی است مثبت یا منفی مشخص کنید.

در شکل (۲ــ۱۱) مسیر حرکت و مکان متحرک در لحظه‌های t_1 ، t_2 و t_3 نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۱۱

در لحظهٔ t_1 مکان متحرک $x_1 = -۳m$ و در لحظهٔ t_2 مکان آن $x_2 = +۳m$ و در لحظهٔ t_3 مکان آن $x_3 = ۹m$ است. از این به بعد در حرکت بر روی خط راست، مکان متحرک را با مختصه مکان مشخص می‌کنیم.

تمرین ۲ــ۵

شکل(۲ــ۱۱) را بر روی یک کاغذ به دقت رسم کنید و بزرگی جابه‌جایی را بین بازه‌های زمانی (t_1 و t_2)، (t_2 و t_3) و (t_1 و t_3) به‌دست آورید. بردار جابه‌جایی را در هر یک از بازه‌های گفته شده رسم کنید.

۲ــ۳ــ نمودار مکان ــ زمان

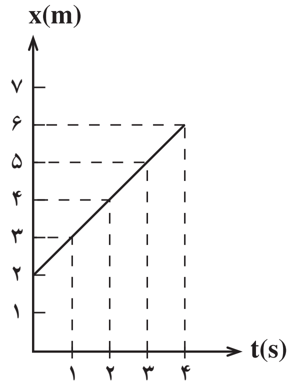
برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نموداری که مکان جسم را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد، استفاده کرد. در بسیاری از موارد رسم این نمودار برای بررسی حرکت بسیار مناسب است. برای رسم این نمودار، غالباً زمان را روی محور افقی و مکان را روی محور قائم مشخص

می‌کنیم. برای این کار با توجه به ارقام درون جدول، مقیاس‌مناسبی برای هر محور انتخاب می‌کنیم. به‌عنوان مثال، برای مکان هر متر جابه‌جایی را با ۰/۵ سانتی‌متر روی محور مکان و برای زمان هر یک ثانیه را با یک سانتی‌متر یا نیم‌سانتی‌متر روی محور زمان نشان می‌دهیم. پس از آن نمودار را به روش نقطه‌یابی رسم می‌کنیم.

در جدول (۲ــ۱) مکان متحرکی در حرکت بر روی خط راست در چند لحظه داده شده است و نمودار مکان ــ زمان آن در شکل (۲ــ۱۲) رسم شده است.

جدول ۲ــ۱

t (ثانیه)	۰	۱	۲	۳	۴
x (متر)	۲	۳	۴	۵	۶



شکل ۲ــ۱۲

با استفاده از این نمودار می‌توان دریافت که متحرک در هر لحظهٔ در چه مکانی قرار دارد و جابه‌جایی آن بین هر دو لحظه چقدر است. مثلاً در لحظهٔ $t=۰$ متحرک در دو متری مبدأ بوده است. یا در بازه $\Delta t = ۴ - ۳ = ۱s$ جابه‌جایی آن $\Delta x = ۱m$ است.

تمرین ۲ــ۶

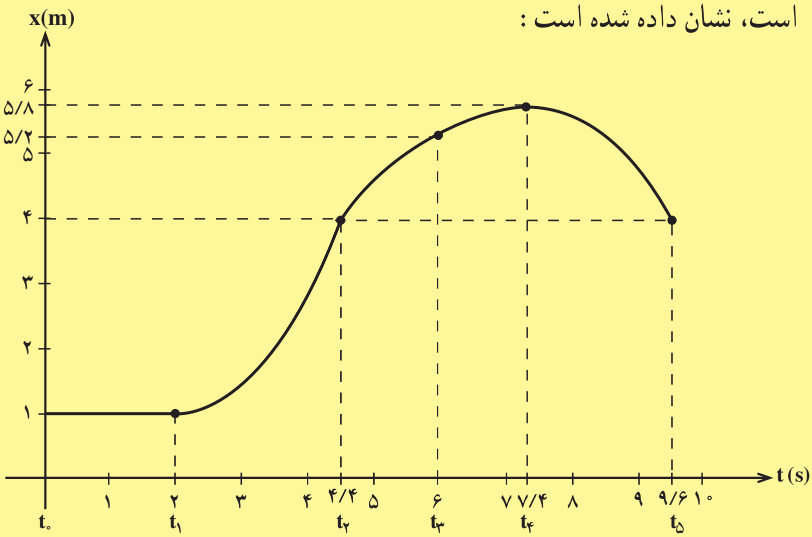
جدول (۲ــ۲) فاصلهٔ متحرکی را تا مبدأ در لحظه‌های داده شده در جدول نشان می‌دهد. نمودار مکان ــ زمان این متحرک را رسم کنید.

جدول ۲ــ۲

t(s)	۰	۱	۲	۳	۴	۵
x(m)	۰	۱/۵	۳	۵/۵	۸	۱۱/۵

مثال ۲ـ۲

در شکل (۲ــ۱۳)، نمودار مکان ــ زمان متحرکی که بر خط راست در حرکت است، نشان داده شده است :



شکل ۲ــ۱۳

الف ــ در هریک از بازه‌های زمانی $t_1 - t_0$ و $t_2 - t_1$ و $t_5 - t_2$ جابه‌جایی چقدر است؟

ب ــ بیش‌ترین فاصله متحرک تا مبدأ چقدر است و متحرک در چه لحظه‌ای در این فاصله است؟

پ ــ از لحظهٔ t_4 تا لحظهٔ t_5 جابه‌جایی چقدر و در چه جهتی است؟

ت ــ در کدام لحظه جهت حرکت عوض شده است؟

حل: الف ــ همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود، از لحظهٔ صفر تا ۲ ثانیه، مکان جسم تغییر نکرده و جسم ساکن مانده است. بنابراین، جابه‌جایی در بازه $t_1 - t_0$ برابر صفر است. در لحظهٔ t_1 متحرک در مکان $x_1 = ۱m$ و در لحظهٔ t_2 در مکان $x_2 = ۴m$ است. بنابراین جابه‌جایی در بازهٔ $t_2 - t_1$ برابر است با : $\Delta x = x_2 - x_1 = ۴ - ۱ = ۳m$

به‌همین ترتیب جابه‌جایی در بازهٔ $t_5 - t_2$ برابر است با : $\Delta x = x_5 - x_2 = ۴ - ۴ = ۰$

ب ــ در لحظهٔ $t_4 = ۷/۴s$ فاصله تا مبدأ بیشترین مقدار و برابر $x_4 = ۵/۸m$ است.

پ ــ جابه‌جایی در بازه $t_5 - t_4$ برابر است با : $\Delta x = x_5 - x_4 = ۴ - ۵/۸ = -۱/۸m$

چون جابه‌جایی در این بازه منفی است، معلوم می‌شود که در این بازه جهت حرکت خلاف جهت محور x است. یعنی متحرک برگشته است.

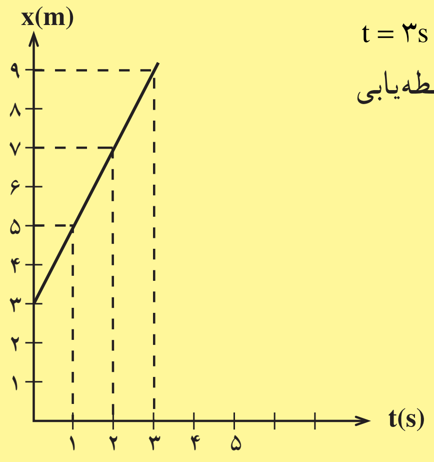
ت ــ با توجه به نمودار معلوم می‌شود تا لحظهٔ t_4 متحرک از مبدأ دور و از لحظهٔ t_4 تا t_5 به مبدأ نزدیک شده است. یعنی در لحظهٔ t_4، جهت حرکت عوض شده است (قبل از لحظهٔ t_4 جابه‌جایی مثبت و از لحظهٔ t_4 تا لحظهٔ t_5 جابه‌جایی منفی است).

مثال ۲ــ۳

متحرکی بر روی خط راست در حرکت است. رابطهٔ بین مکان این متحرک با زمان به‌صورت $x = 2t + 3$ است که در آن x به متر و t به ثانیه است. نمودار مکان ــ زمان این متحرک را رسم کنید و مکان متحرک در دو لحظهٔ $t_1 = 0$ و $t_2 = 3s$ و جابه‌جایی بین این دو لحظه را به‌دست آورید.

حل: برای رسم نمودار، مکان را در چند لحظه از جمله در $t = 0$ (لحظهٔ صفر، لحظهٔ شروع اندازه‌گیری زمان است و به آن مبدأ زمان می‌گوییم) و $t = 1s$ و $t = 2s$ و $t = 3s$ به‌دست می‌آوریم و سپس به روش نقطه‌یابی نمودار را رسم می‌کنیم.

t(s)	۰	۱	۲	۳
x(m)	۳	۵	۷	۹



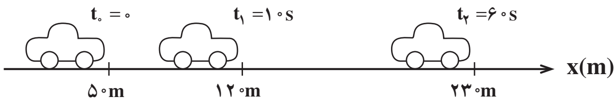
شکل ۲ــ۱۴

و جابه‌جایی بین $t_1 = 0$ و $t_2 = 3s$ برابر است با: $\Delta x = x_2 - x_1 = 9 - 3 = 6m$

یادآوری: چون رابطه داده شده معادله یک خط راست است و برای رسم نمودار آن داشتن دو نقطه کافی است با معلوم کردن مکان در دو لحظه $t = 0$ و $t = 1s$ می‌توان نمودار را رسم نمود.

۲ــ۴ــ سرعت متوسط

شکل زیر مکان اتومبیلی را که در حرکت است در چند لحظهٔ متفاوت نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۱۵

الف ــ بزرگی جابه‌جایی را در بازه‌های $t_۱ - t_۰$ و $t_۲ - t_۱$ به‌دست آورید.

ب ــ در هریک از این بازه‌ها اتومبیل به‌طور متوسط در هر ثانیه چقدر جابه‌جا شده است؟

حل: الف ــ جابه‌جایی در بازه $\Delta t = t_۱ - t_۰ = ۱۰s$ برابراست با $\Delta x = x_۱ - x_۰ = ۱۲۰ - ۵۰ = ۷۰m$.

و جابه‌جایی در بازهٔ $\Delta t = t_۲ - t_۱ = ۵۰s$ برابر است با $\Delta x = x_۲ - x_۱ = ۲۳۰ - ۱۲۰ = ۱۱۰m$.

ب ــ با تقسیم جابه‌جایی به بازه زمانی مربوط به آن، معلوم می‌شود متحرک به‌طور متوسط در هر ثانیه چقدر جابه‌جا شده است.

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۷۰}{۱۰} = ۷ m/s$$

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۱۱۰}{۵۰} = ۲/۲ m/s$$

به این ترتیب می‌توان با معلوم بودن جابه‌جایی در یک بازهٔ زمانی، متوسط جابه‌جایی در هر ثانیه را در آن بازهٔ زمانی به‌دست آورد که آن را **سرعت متوسط** در آن بازهٔ زمانی می‌نامیم. اگر بزرگی سرعت متوسط را با نماد $\bar{v}$ نشان دهیم، داریم :

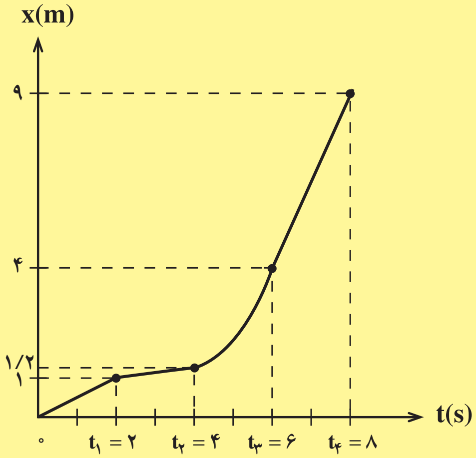
$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۲ــ۱)$$

سرعت متوسط کمیّتی برداری است که با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است. یکای سرعت متوسط متر بر ثانیه (m/s) است.

مثال ۲ــ۴

در شکل (۲ــ۱۶) نمودار مکان ــ زمان متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، نشان داده شده است.

الف ــ در جدولی هر یک از بازه‌های زمانی صفر تا ۲s و ۲s تا ۴s و ۴s تا ۶s و ۶s تا ۸s و جابه‌جایی مربوط به هر بازه را نشان دهید.



شکل ۲ــ۱۶

ب ــ آیا می‌توانید تعیین کنید که در کدام بازه متحرک تندتر حرکت کرده است؟

پ ــ در هریک از این بازه‌های زمانی سرعت متوسط متحرک چقدر است؟

حل: الف ــ مقدارهای Δt و Δx در جدول زیر محاسبه شده‌اند.

ب ــ با توجه به مقدارهای جدول در بازهٔ زمانی $t_۴ - t_۳$ بزرگی جابه‌جایی بیش‌تر از جابه‌جایی‌های دیگر است. یعنی در این بازهٔ زمانی، متحرک تندتر حرکت کرده است.

$\Delta x(m)$	$\Delta t(s)$
$x_۱ - x_۰ = ۱ - ۰ = ۱$	$t_۱ - t_۰ = ۲ - ۰ = ۲$
$x_۲ - x_۱ = ۱/۲ - ۱ = ۰/۲$	$t_۲ - t_۱ = ۴ - ۲ = ۲$
$x_۳ - x_۲ = ۴ - ۱/۲ = ۲/۸$	$t_۳ - t_۲ = ۶ - ۴ = ۲$
$x_۴ - x_۳ = ۹ - ۴ = ۵$	$t_۴ - t_۳ = ۸ - ۶ = ۲$

پ ــ

$$\bar{v}_۱ = \frac{\Delta x_۱}{\Delta t_۱} = \frac{۱}{۲} m/s$$

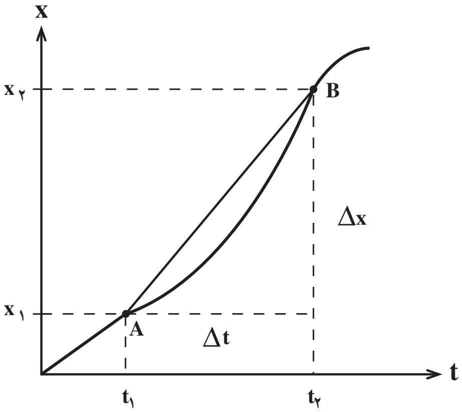
$$\bar{v}_۲ = \frac{\Delta x_۲}{\Delta t_۲} = \frac{۰/۲}{۲} = \frac{۱}{۱۰} m/s$$

$$\bar{v}_۳ = \frac{\Delta x_۳}{\Delta t_۳} = \frac{۲/۸}{۲} = ۱/۴ m/s$$

$$\bar{v}_۴ = \frac{\Delta x_۴}{\Delta t_۴} = \frac{۵}{۲} = ۲/۵ m/s$$

تعیین سرعت متوسط به کمک نمودار مکان ــ زمان: نمودار مکان ــ زمان متحرکی در شکل (۲ــ۱۷) نشان داده شده است. متحرک در لحظهٔ t_1 در مکان x_1 و در لحظهٔ t_2 در مکان x_2 است. سرعت متوسط متحرک در بازهٔ زمانی Δt برابر است با $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$. همان‌طور که در درس ریاضی دیده‌اید نسبت $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ شیب خطی است که دو نقطهٔ $A(t_1,x_1)$ و $B(t_2,x_2)$ را به یکدیگر وصل می‌کند.

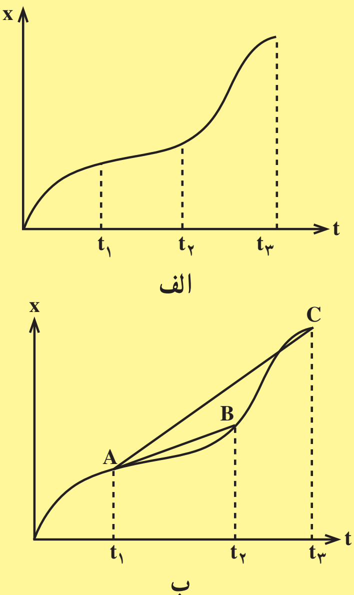
با توجه به این که $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$ است، می‌توان گفت سرعت متوسط بین دو نقطه از نمودار مکان ــ زمان برابر شیب خطی است که آن دو نقطه را به یکدیگر وصل می‌کند.



شکل ۲ــ۱۷

مثال ۲ــ۵

در نمودار شکل (۲ــ۱۸ــ الف) سرعت متوسط را در بازه‌های t_2-t_1 و t_3-t_1 با هم مقایسه کنید.



شکل ۲ــ۱۸

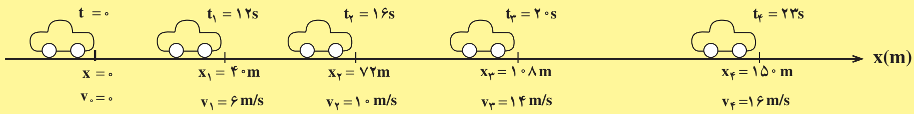
حل: در شکل (۲ــ۱۸ــ ب) خط‌های AB و AC به‌ترتیب بین دو لحظه t_1 و t_2 و دو لحظه t_1 و t_3 رسم شده‌اند. شیب پاره‌خط AB برابر سرعت متوسط در بازه t_2-t_1 است و شیب پاره خط AC برابر سرعت متوسط در بازه t_3-t_1 است. و چون شیب پاره‌خط AC بیش‌تر از شیب پاره خط AB است، بنابراین سرعت متوسط در بازه t_3-t_1 بزرگ‌تر از سرعت متوسط در بازه t_2-t_1 است.

۲ـ۵ــ سرعت لحظه‌ای

هنگامی که یک اتومبیل در حرکت است اگر به سرعت‌سنج آن نگاه کنیم مشاهده می‌کنیم که عقربه آن در هر لحظه مقدار مشخصی را نشان می‌دهد. اگر سرعت اتومبیل زیاد شود عقربه مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. رابطه بین سرعت متوسط و سرعتی که سرعت‌سنج اتومبیل نشان می‌دهد چیست؟ برای پاسخ به این پرسش به مثال زیر توجه کنید.

مثال ۲ـ۶

شکل(۲ـ۱۹) اتومبیلی را که بر مسیر مستقیم در حال حرکت است در لحظه‌های مختلف نشان می‌دهد. مکان و مقداری که سرعت‌سنج اتومبیل نشان می‌دهد در لحظه‌های صفر، ۱۲s، ۱۶s، ۲۰s، ۲۳s در شکل نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۱۹

الف ــ بازه‌های زمانی $t_4 - t_1$ ، $t_3 - t_1$ و $t_2 - t_1$ ، جابه‌جایی و سرعت متوسط مربوط به هر یک از این بازه‌ها را در جدولی ثبت کنید.

ب ــ در کدام بازه زمانی سرعت متوسط به مقداری که سرعت‌سنج اتومبیل در لحظهٔ t_1 نشان می‌دهد نزدیک‌تر است؟

حل: الف

$\Delta t(s)$	$\Delta x(m)$	$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}(m/s)$
$t_4 - t_1 = ۲۳ - ۱۲ = ۱۱$	$x_4 - x_1 = ۱۵۰ - ۴۰ = ۱۱۰$	۱۰
$t_3 - t_1 = ۲۰ - ۱۲ = ۸$	$x_3 - x_1 = ۱۰۸ - ۴۰ = ۶۸$	۸/۵
$t_2 - t_1 = ۱۶ - ۱۲ = ۴$	$x_2 - x_1 = ۷۲ - ۴۰ = ۳۲$	۸

ب ــ همان‌طور که در جدول دیده می‌شود سرعت متوسط در بازه زمانی $t_2 - t_1$ کوچکتر از بازه‌های $t_3 - t_1$ و $t_4 - t_1$ است.

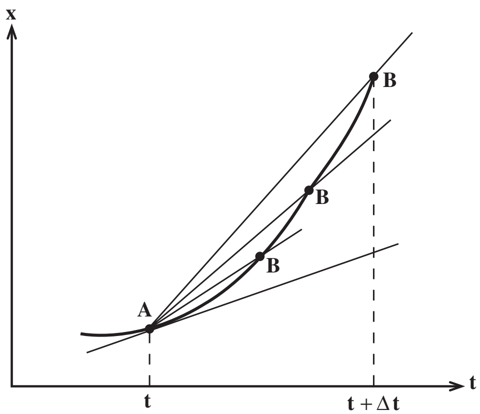
از مقایسه جواب‌های بند (ب) مثال بالا می‌توان نتیجه گرفت که هرچه بازه زمانی کوچکتر باشد سرعت متوسط به سرعتی که سرعت‌سنج نشان می‌دهد نزدیکتر خواهد بود. سرعت متوسط در حدی

که بازه زمانی فوق‌العاده کوچک می‌شود سرعت لحظه‌ای نامیده می‌شود در واقع می‌توان گفت که سرعت‌سنج اتومبیل سرعت لحظه‌ای را نشان می‌دهد سرعت لحظه‌ای را از این به بعد برای اختصار سرعت می‌نامیم. جدول ۲ـ۱، برخی از سرعت‌های تقریبی را نشان می‌دهد.

جدول ۲ـ۱ـ برخی از سرعت های تقریبی

۱. سرعت حلزون	$۱۰^{-۳}$ m/s
۲. راه رفتن سریع	۲ m/s
۳. دونده دو سرعت	۱۰ m/s
۴. سرعت بیشینه اتومبیل در بزرگراه	۳۰ m/s
۵. حرکت کاتوره‌ای مولکول‌های هوا	۵۰۰ m/s
۶. سریع ترین هواپیما	۱۰۰۰ m/s
۷. ماهواره مخابراتی در مدار	۳۰۰۰ m/s
۸. سرعت فضاپیمای خاص	۸۳۰۰ m/s
۹. سرعت مداری زمین	$۲/۹۸ \times ۱۰^{۴}$ m/s
۱۰. سرعت دنباله دار هالی	$۴/۱۷ \times ۱۰^{۴}$ m/s
۱۱. سرعت الکترون در حرکت مداری	۲×۱۰^{۶} m/s

تعیین سرعت لحظه‌ای به کمک نمودار مکان ــ زمان: دیدیم که سرعت متوسط بین دو لحظه شیب خطی است که نمودار مکان ــ زمان را در آن دو لحظه قطع می‌کند. در شکل (۲ــ۲۰) می‌بینید که اگر Δt به‌تدریج کوچک و کوچک‌تر شود، نقطه‌های B و A به‌هم نزدیک و نزدیک‌تر می‌شوند به‌طوری که اگر Δt فوق‌العاده کوچک شود A و B هم خیلی‌خیلی به هم نزدیک می‌شوند و در نهایت خط AB در نقطهٔ A بر نمودار مماس می‌شود. در این حالت، شیب خط مماس برابر سرعت لحظه‌ای متحرک در لحظهٔ t است.



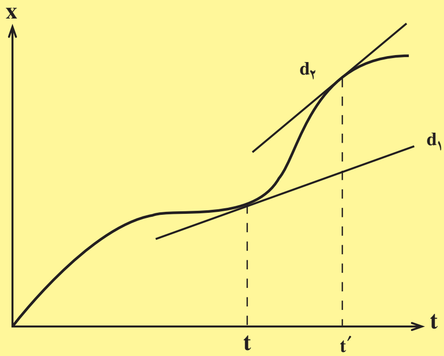
شکل ۲ــ۲۰ــ با کوچک شدن Δt نقطه B به A نزدیک می‌شود.

پس می‌توان نتیجه گرفت که سرعت در هر لحظه برابر شیب مماس بر نمودار مکان ــ زمان در آن لحظه است.

مثال ۲ــ ۷

در شکل زیر شیب مماس d_1 سرعت در لحظهٔ t و شیب مماس d_2 سرعت در لحظهٔ t' است. در کدام لحظه سرعت بیش‌تر است؟

حل: همان‌طور که در شکل دیده می‌شود چون شیب d_2 بیش‌تر از شیب d_1 است، $v' > v$ است (سرعت در لحظهٔ t' بیش‌تر از سرعت در لحظهٔ t است). با اندازه‌گیری شیب مماس بر منحنی نمودار مکان‌ــزمان می‌توان سرعت لحظه‌ای را به‌دست آورد.



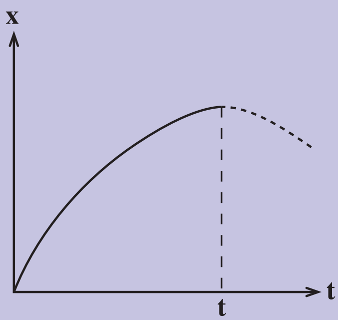
شکل ۲ــ۲۱

تمرین ۲ــ۷

شکل (۲ــ۲۲) نمودار مکان ــ زمان متحرکی را نشان می‌دهد.

الف ــ از لحظهٔ صفر تا t سرعت رو به افزایش است یا کاهش؟

ب ــ اگر در لحظهٔ t مماس بر نمودار موازی محور t باشد، سرعت در این لحظه چقدر است؟



شکل ۲ــ۲۲

۲ــ۶ــ حرکت یکنواخت بر خط راست

هرگاه سرعت لحظه‌ای متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، در تمام لحظه‌ها یکسان باشد، حرکت آن **یکنواخت** نامیده می‌شود. در این حرکت نمودار مکان ــ زمان یک خط راست است (چرا؟) و درنتیجه سرعت متوسط بین هر دو لحظهٔ دلخواه برابر با سرعت لحظه‌ای می‌شود. چرا؟ بنابراین :

$$\bar{v} = v \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۲ــ۲)$$

از رابطهٔ (۲ــ۲) می‌توان نوشت :

$$\Delta x = v\Delta t \qquad (۲ــ۳)$$

هرگاه فاصلهٔ متحرک تا مبدأ در لحظهٔ $t = ۰$ برابر $x_۰$ و فاصله آن تا مبدأ در لحظه t برابر x باشد :

$$x - x_۰ = v(t - ۰)$$

و یا :

$$x = vt + x_۰ \qquad (۲ــ۴)$$

در این رابطه که آن را معادله حرکت یکنواخت می‌نامند، x فاصله تا مبدأ (مکان) بر حسب متر، v سرعت لحظه‌ای برحسب متر بر ثانیه، t زمان برحسب ثانیه و $x_۰$ فاصله تا مبدأ در لحظهٔ صفر برحسب متر است. با توجه به آن‌چه قبلاً گفته شد، ممکن است مکان مثبت یا منفی باشد. سرعت هم در صورتی که در جهت محور x یا y باشد مثبت، در غیر این صورت منفی است.

مثال ۲ــ۸

معادله حرکت جسمی که روی خط راست حرکت می‌کند، در SI به‌صورت $x = ۴t$ است.

الف ــ فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه‌های $t_۱ = ۲s$ و $t_۲ = ۵s$ چقدر است؟ جابه‌جایی جسم بین دو لحظهٔ $t_۱$ و $t_۲$ چقدر است؟

ب ــ سرعت متحرک چقدر است؟ نمودار مکان ــ زمان آن را رسم کنید.

حل: الف ــ فاصلهٔ متحرک تا مبدأ در لحظهٔ $t_۱$

$$x_۱ = ۴t_۱ = ۴ \times ۲ = ۸m$$

فاصلهٔ متحرک تا مبدأ در لحظهٔ $t_۲$

$$x_۲ = ۴t_۲ = ۴ \times ۵ = ۲۰m$$

و جابه‌جایی متحرک بین این دو لحظه

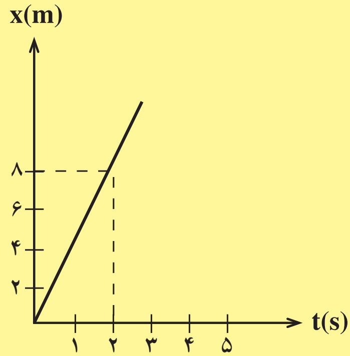
$$\Delta x = x_۲ - x_۱ = ۲۰ - ۸ = ۱۲m$$

می‌باشد.

ب ــ در حرکت یکنواخت داریم :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۱۲}{۵-۲} = ۴m/s$$

با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای t و x، نمودار را به روشی که قبلاً گفته شد، رسم می‌کنیم.

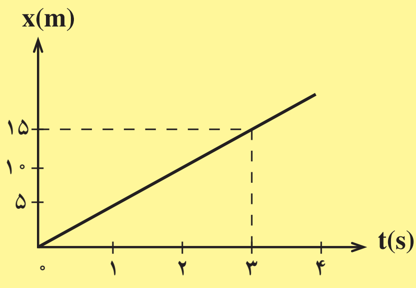


t(s)	۰	۲
x(m)	۰	۸

شکل ۲ــ۲۳

مثال ۲ــ۹

نمودار مکان ــ زمان جسمی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل (۲ــ۲۴) است.



شکل ۲ــ۲۴

الف ــ آیا سرعت این حرکت ثابت است؟ اندازهٔ سرعت چقدر است؟

ب ــ فاصلهٔ آن تا مبدأ در لحظهٔ صفر و معادلهٔ حرکت آن و جابه‌جایی آن بین دو لحظهٔ $t_۱ = ۲s$ و $t_۲ = ۵s$ را محاسبه کنید.

حل: الف ــ چون نمودار مکان ــ زمان خط راست است حرکت یکنواخت، و شیب نمودار برابر سرعت است. با توجه به شکل، شیب نمودار $۵ = \frac{۱۵}{۳}$ ، یعنی $v = ۵ m/s$ است.

ب ــ در لحظهٔ $t = ۰$ ، $x = ۰$ و $x_۰ = ۰$ است. بنابراین :

معادله حرکت $x = vt + x_۰$

$x = ۵t$

$x_۱ = ۵ \times ۲ = ۱۰m$ و $x_۲ = ۵ \times ۵ = ۲۵m$

جابه‌جایی بین دو لحظه $\Delta x = x_۲ - x_۱ = ۲۵ - ۱۰ = ۱۵m$

تمرین ۲ــ۸

جسمی با سرعت ثابت v بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر در لحظهٔ $t_۱ = ۵s$ فاصلهٔ آن تا مبدأ ۶m و در لحظهٔ $t_۲ = ۲۰s$ فاصله آن تا مبدأ ۳۶ متر باشد، سرعت و فاصلهٔ آن تا مبدأ در لحظهٔ صفر چقدر است؟ معادلهٔ مکان ــ زمان را بنویسید. نمودار مکان ــ زمان را رسم کنید.

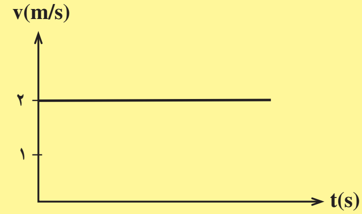
۲ــ۷ــ نمودار سرعت ــ زمان

دیدیم از نمودار مکان ــ زمان می‌توان اطلاعاتی درمورد حرکت جسم، مثلاً سرعت یا مکان متحرک و سرعت متوسط آن به‌دست آورد. به همین‌ترتیب می‌توان از نمودار سرعت ــ زمان هم اطلاعاتی دربارهٔ حرکت جسم به‌دست آورد. برای رسم نمودار سرعت ــ زمان در دستگاه مختصات t ــv، محور قائم برای سرعت و محور افقی را برای زمان اختیار می‌کنیم و به ترتیبی که برای نمودار مکان ــ زمان گفته شد، این نمودار را رسم می‌کنیم.

مثال ۲ـ۱۰

متحرکی با سرعت ثابت در مسیر مستقیم در حرکت است. در لحظهٔ $t_۱=۲s$ در فاصله ۵ متر و در لحظهٔ $t_۲=۱۲s$ در فاصله ۲۵متری از مبدأ است. نمودار سرعت ـ زمان آن را رسم کنید.

حل: در حرکت با سرعت ثابت داریم : $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{۲۵-۵}{۱۲-۲}=\frac{۲۰}{۱۰}=۲\,m/s$



شکل ۲ــ۲۵

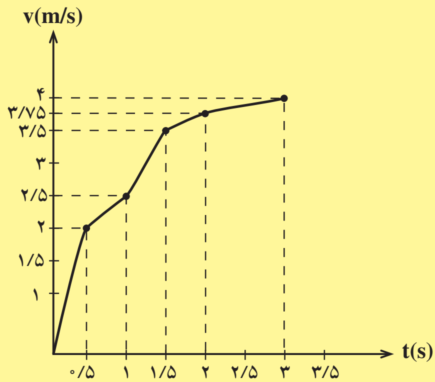
چون در حرکت یکنواخت سرعت ثابت است، نمودار سرعت ــ زمان به‌صورت یک خط راست موازی محور زمان است.

مثال ۲ـ۱۱

در جدول زیر سرعت متحرکی که بر روی خط راست در حرکت است در چند لحظه مشخص شده است. نمودار سرعت ــ زمان آن را رسم کنید.

زمان به s	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۳
سرعت به m/s	۰	۲	۲/۵	۳/۵	۳/۷۵	۴

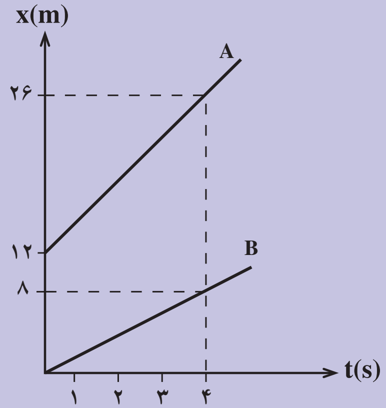
حل: زمان‌ها را بر روی محور افقی و سرعت‌ها را بر روی محور قائم ثبت می‌کنیم و به‌ترتیبی که برای نمودار مکان ــ زمان گفته شد،نمودار سرعت ــ زمان را رسم می‌کنیم.



شکل ۲ــ۲۶

تمرین ۲ـ۹

شکل (۲ــ۲۷) نمودار مکان ــ زمان دو متحرک A و B را نشان می‌دهد. سرعت هر یک از آن‌ها را حساب کنید و نمودار سرعت ــ زمان هرکدام را رسم و معادلهٔ حرکت هر یک از آن‌ها را بنویسید.



شکل ۲ــ۲۷

۲ــ۸ــ شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای

هنگامی که اتومبیل از حال سکون به راه می‌افتد، با مشاهده سرعت‌سنج اتومبیل ملاحظه می‌شود که سرعت آن به‌تدریج افزایش می‌یابد و در هنگام ترمزکردن سرعت آن به‌تدریج کاهش می‌یابد. در این موارد که سرعت متحرک تغییر می‌کند می‌گوییم حرکت، شتابدار یا غیریکنواخت است.

شتاب متوسط برابر نسبت تغییر سرعت به بازهٔ زمانی است که سرعت تغییر کرده است. اگر تغییر سرعت در بازه زمانی Δt برابر Δv باشد داریم:

$$\bar{a} = \frac{v_۲ - v_۱}{t_۲ - t_۱} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (۲ــ۵)$$

که در آن $\bar{a}$ نماد شتاب متوسط و یکای آن متر بر مجذور ثانیه $(m/s^۲)$ است.

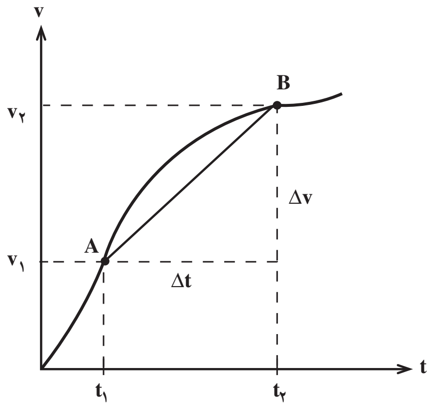
مثال ۲ـ۱۲

سرعت متحرکی در لحظهٔ $t_۱ = ۲۰s$ برابر $۱۰m/s$ و در لحظهٔ $t_۲ = ۴۵s$ برابر $۲۰m/s$ است. شتاب متوسط آن بین دو لحظهٔ $t_۱$ و $t_۲$ چقدر است؟

حل:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{۲۰ - ۱۰}{۴۵ - ۲۰} = \frac{۱۰}{۲۵} = ۰/۴ m/s^۲$$

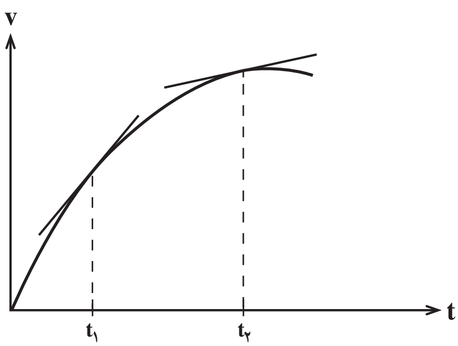
تعیین شتاب متوسط بــه کـمک نمودار سرعت ــ زمان: در شکـل (۲ــ ۲۸) نـمـودار سرعت ــ زمان متحرکی نشان داده شده است. با توجه به تعریف شتاب متوسط معلوم می‌شود که شتاب متوسط بین دو لحظه برابر شیب خطی است که نمودار سرعت ــ زمان را در آن دو لحظه (یعنی دو لحظه t_1 و t_2 که معادل دو نقطه A و B روی نمودار است) قطع کند.



شکل ۲ــ۲۸

شتاب لحظه‌ای: در حرکت شتابدار نیز می‌توان گفت که متحرک در هر لحظه دارای شتابی است که آن‌را شتاب لحظه‌ای می‌نامیم و با a نشان می‌دهیم.

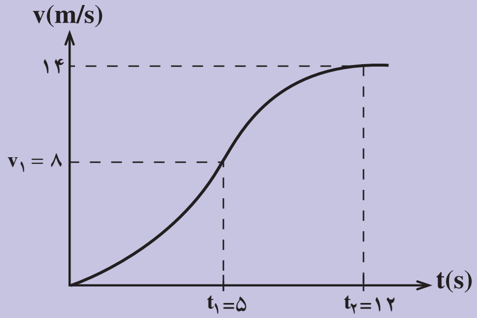
همان‌طورکه در سرعت لحظه‌ای دیدیم در اینجا نیز اگر در رابطه $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ، Δt بسیار کوچک شود، شتاب متوسط خیلی نزدیک به شتاب لحظه‌ای می‌شود. در این صورت دو نقطه A و B بسیار به هم نزدیک می‌شوند و می‌توان نتیجه گرفت که شتاب لحظه‌ای برابر شیب مماس بر نمودار سرعت ــ زمان در آن لحظه است. در شکل (۲ــ ۲۹) شیب مماس بر نمودار v ــ t در لحظهٔ t_1 برابر شتاب در لحظهٔ t_1 و شیب مماس در لحظهٔ t_2 برابر شتاب در لحظهٔ t_2 است. با توجه به این که در شکل (۲ــ ۲۹) شیب مماس در لحظهٔ t_1 بیش‌تر از شیب مماس در لحظهٔ t_2 است، می‌توان نتیجه گرفت که شتاب در لحظهٔ t_1 بیش‌تر از شتاب در لحظهٔ t_2 است.



شکل ۲ــ۲۹

تمرین ۲ــ۱۰

نمودار سرعت ــ زمان متحرکی مطابق شکل زیر است. با توجه به آن توضیح دهید :



شکل ۲ــ۳۰

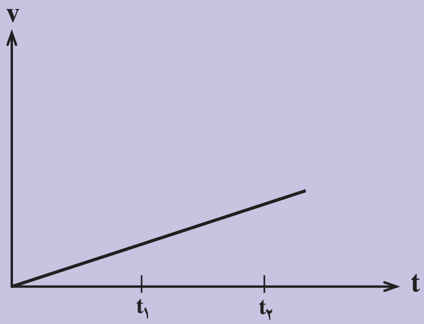
الف ــ در بازه‌های زمانی $(۰, t_1)$ و (t_1, t_2) شتاب متوسط چقدر است؟

ب ــ در کدام یک از دو لحظهٔ t_1 و t_2 شتاب بیشتر است؟

تمرین ۲ــ۱۱

الف ــ در حرکت یکنواخت شتاب حرکت چقدر است؟

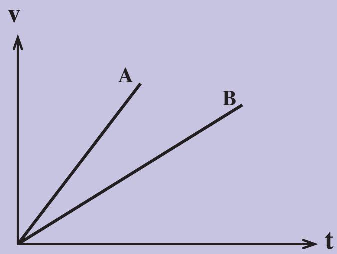
ب ــ شکل روبرو نمودار سرعت ــ زمان متحرکی است که روی خط راست حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در دو لحظهٔ t_1 و t_2 با هم مقایسه کنید.



شکل ۲ــ۳۱

تمرین ۲ــ۱۲

نمودار سرعت ــ زمان دو متحرک A و B در شکل روبرو نشان داده شده است. شتاب این دو متحرک را با هم مقایسه کنید.



شکل ۲ــ۳۲

آزمایش ۲ـ۱

وسایل لازم:

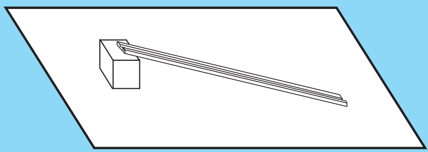
۱ــ تخته شیاردار یا میله‌های چوب پرده، به طول ۲ متر

۲ــ مکعب‌های تخته‌ای به ضخامت‌های ۴cm

۳ــ گلوله‌های شیشه‌ای (تیله) یا ساچمه‌های فلزی

۴ــ زمان‌سنج (کرونومتر)

۵ــ متر نواری



شکل ۲ــ۳۳

روش آزمایش: یک سرمیله چوب‌پرده را مطابق شکل (۲ــ۳۳) بالای یکی از مکعب‌های تخته‌ای قرار دهید. یکی از گلوله‌های شیشه‌ای را از فاصله نیم‌متری انتهای‌میله که قبلاً یکی از مکعب‌ها را در آنجا قرار داده‌اید رها کنید و در این لحظه کرونومتر را به‌کار اندازید. (می‌توانید جلوی گلوله خط‌کشی قرار دهید و لحظه‌ای که خط‌کش را برمی‌دارید، کرونومتر را به‌کار اندازید). لحظه‌ای که گلوله به مکعب انتهای مسیر برخورد می‌کند، کرونومتر را متوقف کنید.

آزمایش را برای فواصل ۱m، ۱/۵m و ۲m تکرار کنید و نتیجه را در جدول روبرو بنویسید.

نمودار x برحسب t را رسم کنید. نتیجه آزمایش را تجزیه و تحلیل کنید.

ردیف	طول	زمان t	t^2	$\frac{x}{t^2}$
۱	۰/۵			
۲	۱			
۳	۱/۵			
۴	۲			

۲ــ۹ــ حرکت بر خط راست با شتاب ثابت

هرگاه در حرکتی شتاب در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، آن را حرکت با شتاب ثابت می‌نامیم. در این حالت نمودار سرعت ــ زمان به‌صورت یک خط راست است. چرا؟ در چنین حرکتی، شتاب متوسط بین هر دو لحظه دلخواه با شتاب متحرک در هر لحظه برابر می‌شود یعنی

$$\bar{a} = a = \frac{v_۲ - v_۱}{t_۲ - t_۱} \qquad (۲ــ۶)$$

اگر در رابطه (۲ــ۶) $t_۱ = ۰$ و $t_۲ = t$ اختیار شود، در این صورت $v_۱$ سرعت در لحظهٔ صفر با نماد $v_۰$ و سرعت در لحظهٔ t با نماد v نشان داده می‌شود و می‌توان نوشت :

$$a = \frac{v - v_۰}{t}$$

$$v = at + v_۰ \qquad (۲ــ۷)$$

دیدیم در حرکت با شتاب ثابت، نمودار سرعت ــ زمان بین دو لحظه یک خط راست است. می‌توان نشان داد که در حرکت با شتاب ثابت سرعت متوسط بین دو لحظه نصف مجموع سرعت‌های آن دو لحظه است.

$$\bar{v} = \frac{v_۱ + v_۲}{۲} \qquad (۲ــ۸)$$

مثال ۲ـ۱۳

متحرکی از حال سکون $(v_۰ = ۰)$ با شتاب ثابت $۲\,m/s^۲$ شروع به حرکت می‌کند. سرعت آن را در لحظهٔ $t_۱ = ۴s$ و $t_۲ = ۱۲s$ به‌دست آورید و نمودار سرعت ــ زمان آن را رسم کنید.

حل: بنا به رابطه (۲ــ۷) :

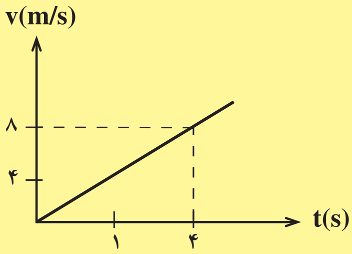
$$v = at + v_۰$$

$$v_۱ = ۲ \times ۴ + ۰$$

$v_۱ = ۸\,m/s$ — سرعت متحرک در $t_۱ = ۴s$

$v_۲ = ۲ \times ۱۲ + ۰ \Rightarrow v_۲ = ۲۴\,m/s$ — سرعت متحرک در $t_۲ = ۱۲s$

چون شتاب ثابت است، نمودار سرعت ــ زمان یک خط راست است. بنابراین، برای رسم آن مشخص نمودن دو نقطه از نمودار کافی است.



t(s)	۰	۴
v(m/s)	۰	۸

شکل ۲ــ۳۴

مثال ۲ــ۱۴

سرعت متحرکی در لحظهٔ $t_۱ = ۴s$ برابر $۵\,m/s$ و سرعت آن در لحظه $t_۲ = ۱۲s$ برابر $۱۱m/s$ است، در صورتی که شتاب آن ثابت باشد، شتاب و سرعت آن را در لحظه صفر به‌دست آورید و نمودار سرعت ــ زمان آن را رسم کنید.

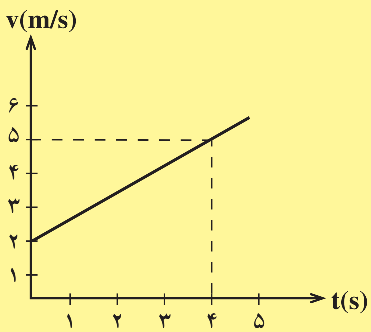
حل:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_۲ - v_۱}{t_۲ - t_۱}$$

$$a = \frac{۱۱ - ۵}{۱۲ - ۴} = \frac{۶}{۸} = \frac{۳}{۴}\,m/s^۲$$

$$v = at + v_۰ \Rightarrow v_۰ = v - at$$

$$v_۰ = ۵ - \frac{۳}{۴} \times ۴ = ۲\,m/s$$



t(s)	۰	۴
v(m/s)	۲	۵

شکل ۲ــ۳۵

۲ــ۱۰ــ معادلهٔ مکان ــ زمان در حرکت با شتاب ثابت بر خط راست

بنا به رابطه‌های (۲ــ۱ و ۲ــ۸) در حرکت با شتاب ثابت

و از آن‌جا

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v_۱ + v_۲}{۲}$$

$$\Delta x = \frac{v_۱ + v_۲}{۲} \Delta t \qquad (۲ــ۹)$$

در این رابطه Δx جابه‌جایی در بازهٔ Δt و $v_۱$ و $v_۲$ به‌ترتیب سرعت در لحظهٔ $t_۱$ و سرعت در لحظهٔ $t_۲$ است. اگر $t_۱ = ۰$ و $t_۲ = t$ و سرعت متحرک در این لحظه‌ها به‌ترتیب $v_۰$ و v و مکان متحرک در این لحظه‌ها $x_۰$ و x باشد در این صورت

$$x - x_۰ = \frac{v + v_۰}{۲} t$$

و بنا به رابطهٔ (۲ــ۷)

$$x - x_۰ = \frac{at + v_۰ + v_۰}{۲} t$$

$$x = \frac{۱}{۲} a t^۲ + v_۰ t + x_۰ \qquad (۲ــ۱۰)$$

این رابطه معادله مکان ــ زمان حرکت بر روی خط راست با شتاب ثابت است. اگر زمان را از رابطه (۲ــ۷) بدست آوریم و در رابطه (۲ــ۱۰) قرار دهیم رابطه‌ای بین مکان و سرعت، مستقل از زمان بدست می‌آید.

بنابه رابطه (۲ــ۷)

$$t = \frac{v - v_۰}{a}$$

اگر در رابطه (۲ــ۱۰) به‌جای t مقدار اخیر را قرار دهیم خواهیم داشت :

$$x = \frac{۱}{۲} a \left(\frac{v - v_۰}{a}\right)^۲ + v_۰ \left(\frac{v - v_۰}{a}\right) + x_۰$$

که با ساده‌کردن این رابطه داریم :

$$v^۲ - v_۰^۲ = ۲a(x - x_۰) \qquad (۲ــ۱۱)$$

مثال ۲ــ۱۵

متحرکی با شتاب ثابت $۰/۵\,m/s^۲$ از حال سکون بر روی خط راست شروع به حرکت می‌کند. پس از ۲۵m جابه‌جایی سرعت آن چقدر می‌شود؟

حل: بنا به رابطه (۲ــ۱۱) داریم :

$$v^۲ - v_۰^۲ = ۲a(x - x_۰)$$

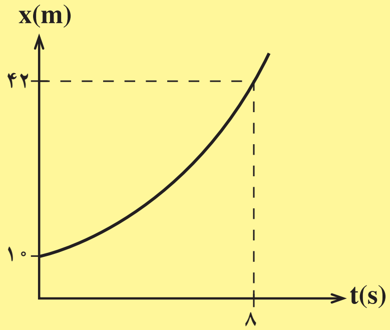
$$v^۲ - ۰ = ۲ \times ۰/۵(۲۵ - ۰)$$

$$v = ۵\, m/s$$

مثال ۲ــ۱۶

شکل روبرو نمودار مکان ــ زمان متحرکی است که با شتاب ثابت بر روی خط راست در حرکت است.

فرض کنید $v_۰ = ۲\, m/s$ است نمودار سرعت ــ زمان را رسم کنید.



شکل ۲ــ۳۶

حل:

$$x = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_۰t + x_۰$$

$$۴۲ = \frac{۱}{۲}a \times ۶۴ + ۱۶ + ۱۰$$

$$۳۲ = ۶۴a \Rightarrow a = ۰/۵\, m/s^۲$$

$$v = at + v_۰$$

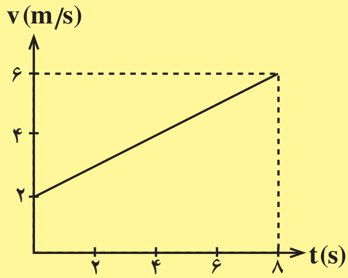
$$v = ۰/۵t + v_۰$$

$$t = ۰ \quad \Rightarrow \quad v_۰ = ۲\, m/s$$

$$t = ۸ \quad \Rightarrow \quad v = ?$$

$$v = at + v_۰$$

$$\Rightarrow v = ۰/۵ \times ۸ + ۲ = ۶\, m/s$$

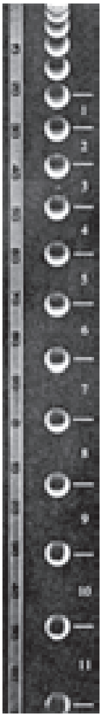


شکل ۲ــ۳۷

سقوط آزاد: سقوط آزاد نمونهٔ طبیعی حرکت با شتاب ثابت است. در این حرکت مسیر خط راست است و در هنگام سقوط، تنها نیروی وارد به جسم، وزن آن است[۱] . مثل، سقوط یک جسم در

۱ــ بررسی کامل حرکت سقوط آزاد در فیزیک (۱) دورهٔ پیش‌دانشگاهی انجام می‌شود. در این کتاب **تنها** باید ←

خلأ یا سقوط یک گلولهٔ کوچک فلزی (ساچمه) در هوا که با تقریب خوبی می‌توان حرکت آن را سقوط آزاد فرض کرد. شکل (۲ــ۳۸) یک گلوله را در ضمن سقوط آزاد نشان می‌دهد که در بازه‌های زمانی مساوی و متوالی $\Delta t = \frac{1}{30}s$ از آن عکس گرفته شده است.



شکل ۲ــ۳۸

تجربه نشان داده است که در سقوط آزاد، شتاب برای همه اجسام یکسان است. بنابراین، معادله‌های حرکت و سرعت در سقوط آزاد همان معادله‌های حرکت با شتاب ثابت است. در سقوط آزاد نماد شتاب g است که آن را شتاب گرانش می‌نامند. بزرگی این شتاب در نزدیکی سطح زمین نزدیک به $9/8 m/s^2$ است. در مواردی برای سهولت محاسبه، $g = 10 m/s^2$ فرض می‌شود.

در سقوط آزاد، جابه‌جایی در امتداد قائم است مکان متحرک به‌طور معمول با y نشان داده می‌شود و مبدأ نقطه‌ای است که سقوط از آن نقطه شروع می‌شود. اگر جهت مثبت رو به پایین اختیار شود معادله حرکت سقوط آزاد به‌صورت رابطه (۲ــ۱۲) و معادله سرعت به‌صورت رابطه (۲ــ۱۳) است.

$$y = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \qquad (۲ــ۱۲)$$

$$v = gt + v_0 \qquad (۲ــ۱۳)$$



شکل ۲ــ۳۹

→ مثال‌هایی بررسی شوند که در آن جسم از ارتفاع مشخصی و **بدون** سرعت اولیه رها می‌شود. ارائه و ارزش‌یابی هر مسئله و پرسشی خارج از آن‌چه بیان شد، از هدف‌های برنامهٔ درسی این کتاب نیست.

مثال ۲ـ۱۷

یک سنگ کوچک از ارتفاع ۴/۹ متری زمین رها می‌شود.

الف ــ پس از چند ثانیه به زمین می‌رسد؟

ب ــ سرعت آن هنگام رسیدن به زمین چقدر است؟ $(g=9/8 m/s^2)$

حل: الف ــ

$$v_0 = 0 \qquad y = \frac{1}{2}gt^2$$

$$4/9 = \frac{1}{2} \times 9/8 \times t^2$$

$$t^2 = \frac{9/8}{9/8} = 1 \Rightarrow t = 1s$$

ب ــ

$$v = gt$$

$$v = 9/8 \times 1 = 9/8 \ m/s$$

تمرین ۲ـ۱۳

دو جسم A و B به‌ترتیب از ارتفاع‌های ۲۰ متری و ۴۵ متری بالای سطح زمین بدون سرعت اولیه به‌طور آزاد سقوط می‌کنند. زمان سقوط هرکدام چقدر است؟ و جسم B چند ثانیه پس از A به زمین می‌رسد و سرعت هریک از آن‌ها درلحظهٔ رسیدن به زمین چقدر است؟ ($g=10 m/s^2$ فرض شود.)

تمرین‌های فصل دوم

۱ــ شکل ۲ــ۴۰ نمودار مکان ــ زمان حرکت یک دونده دوی استقامت بر روی یک خط راست را نشان می‌دهد.

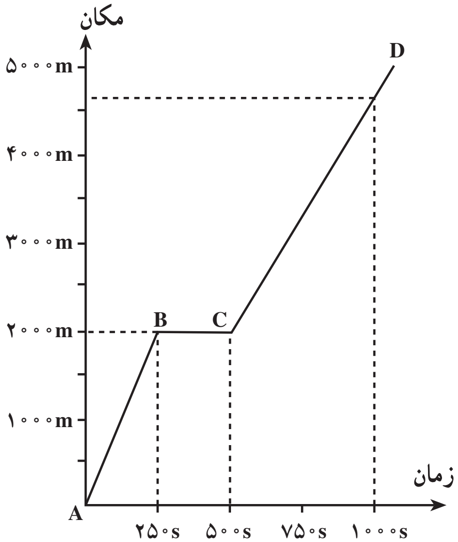
الف) بین کدام دو نقطه، دونده سریع‌تر در حال دویدن بوده است؟

ب) بین کدام دو نقطه، دونده ایستاده است؟

پ) سرعت دونده را بین دو نقطه‌ی A و B حساب کنید.

ت) سرعت دونده را بین دو نقطه‌ی C و D حساب کنید.

ث) سرعت متوسط دونده را در کل زمان حرکت حساب کنید.



شکل ۲ــ۴۰

۲ــ معادلهٔ حرکت جسمی که بر روی خط راست در حرکت است در SI به‌صورت $x = ۳t - ۴$ است.

الف ــ چه مدت پس از لحظهٔ صفر متحرک به مبدأ می‌رسد؟

ب ــ متحرک در لحظهٔ $t = ۱s$ در چه فاصله‌ای از مبدأ قرار دارد و جابه‌جایی آن بین دو لحظهٔ $t = ۱s$ و $t = ۵s$ چقدر است؟

۳ــ دانستن محل قرارگیری یک ماهواره در مأموریت‌های فضایی و اطمینان از اینکه ماهواره در مدار پیش‌بینی شده قرار گرفته، یکی از مأموریت‌های اصلی کارشناسان فضایی است. بدین‌منظور تپ‌های الکترومغناطیسی که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند را به طرف ماهواره‌ی موردنظر ارسال کرده و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ ۰/۳ ثانیه طول بکشد، فاصله‌ی ماهواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چه مقدار است؟

۴ــ راننده‌ای فاصله بین دو شهر را به‌ترتیب زیر می‌پیماید.

ابتدا به مدت یک ساعت با سرعت متوسط ۱۵m/s رانندگی کرده و پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه توقف می‌کند. آنگاه با سرعت متوسط ۲۰m/s به مدت ۳۰ دقیقه به رانندگی ادامه می‌دهد

و بقیه مسیر را تا مقصد به مدت یک ربع ساعت با سرعت متوسط $12\,m/s$ رانندگی می‌کند.

الف ــ فاصله بین دو شهر چند کیلومتر است؟

ب ــ سرعت متوسط او در کل مسیر چند کیلومتر بر ساعت است؟

پ ــ سرعت متوسط او در طول مدت رانندگی چقدر است؟

۵ــ الف ــ اتومبیلی در یک مسیر دایره‌ای شکل به شعاع ۱۰۰ متر دور می‌زند. مسافتی که اتومبیل در نیم‌دور می‌پیماید، چند متر است؟ شکل مسیر را رسم و بردار جابه‌جایی را روی شکل مشخص کنید و بزرگی آن را به‌دست آورید.

ب ــ بزرگی جابه‌جایی اتومبیل را در یک چهارم دور حساب کنید.

ج ــ جابه‌جایی اتومبیل در یک دور کامل چقدر است؟

۶ــ سرعت یک اتومبیل در مدت ۲۰ ثانیه بر روی یک مسیر مستقیم از $10\,m/s$ به $18\,m/s$ می‌رسد.

الف ــ شتاب متوسط اتومبیل در این مدت چقدر است؟

ب ــ اگر سرعت اتومبیل با همین شتاب تغییر کند، پس از چه مدت سرعت آن به ۱۰۸ کیلومتر بر ساعت می‌رسد؟

۷ــ سرعت فضاپیمایی ۳۰ ثانیه پس از شروع حرکت به $1200\,km/h$ می‌رسد. شتاب متوسط آن چقدر است؟ این شتاب چند برابر $g = 9/8\,m/s^2$ است؟

۸ــ راننده اتومبیلی که با سرعت $72\,km/h$ در حرکت است، در یک لحظه مانعی را مقابل خود می‌بیند و سرعت خود را کم می‌کند به‌طوری که پس از ۸ ثانیه می‌ایستد.

الف ــ شتاب متوسط حرکت از لحظهٔ کند شدن حرکت تا توقف آن چقدر است؟

ب ــ اگر در مدت کند شدن حرکت اتومبیل، شتاب آن ثابت فرض شود، اتومبیل چه مسافتی را تا لحظهٔ توقف پیموده است؟

۹ــ اتومبیلی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند و پس از ۲۰ ثانیه سرعتش به $36\,km/h$ می‌رسد. سپس با همین سرعت به مدت ۱۰ دقیقه به حرکتش ادامه می‌دهد. پس از آن ترمز می‌کند و بعد از ۵ ثانیه متوقف می‌شود. اگر در مدت ترمز کردن شتاب ثابت باشد،

الف ــ جهت سرعت و شتاب حرکت را در هر مرحله معلوم کنید.

ب ــ نمودار سرعت ــ زمان را از لحظهٔ شروع حرکت تا لحظهٔ توقف اتومبیل رسم کنید.

۱۰ــ متحرکی که بر روی خط راست با شتاب ثابت در حرکت است در فاصله ۱۰ متری مبدأ

سرعتش $4m/s$ و در فاصله ۱۹ متری مبدأ سرعتش $18km/h$ است.

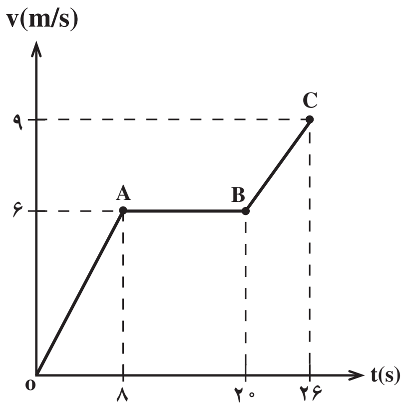
الف ـ شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب ـ پس از چه مدت از ۱۰ متری مبدأ به ۱۹ متری مبدأ رسیده است؟

۱۱ـ شکل ۲ـ۴۱ نمودار سرعت ـ زمان متحرکی را در ۲۶ ثانیه نشان می‌دهد.

الف ـ شتاب هر یک از مرحله‌های OA و AB و BC چقدر است؟

ب ـ شتاب متوسط در بازه صفر تا ۲۶ ثانیه چقدر است؟



شکل ۲ـ۴۱

۱۲ـ سنگ کوچکی از لبهٔ پلی بدون سرعت اولیه سقوط می‌کند و پس از ۱/۵ ثانیه به سطح آب برخورد می‌کند. ارتفاع پل از سطح آب و سرعت سنگ‌ریزه در موقع رسیدن به سطح آب چقدر است؟ ($g=9/8m/s^2$ فرض شود.)

۱۳ـ گلولهٔ کوچکی از بالای ساختمانی رها می‌شود. وقتی در ارتفاع ۱۵ متری بالای زمین قرار دارد سرعتش $10m/s$ است.

الف ـ سرعت سنگ در لحظه رسیدن به زمین چقدر است؟

ب ـ ارتفاع ساختمان و سرعت متوسط گلوله در مدت سقوط چقدر است؟ ($g=10m/s^2$ فرض شود.)

۳



ماهی‌گیران در سواحل خلیج فارس

به نظر شما کشیدن تور ماهی‌گیری از پشت (مطابق شکل) آیا مزیتی نسبت به کشیدن آن از جلو دارد؟

فصل ۳

دینامیک

در فصل دوم با کمیت‌هایی مانند مکان، جابه‌جایی، سرعت و شتاب آشنا شدیم و با تعریف این کمیت‌ها، حرکت را توصیف کردیم. دیدیم که ممکن است حرکت با سرعت ثابت انجام شود و یا ممکن است، حرکت جسم شتاب‌دار باشد و در نتیجه، سرعت تغییر کند. اما از طرح و پاسخ پرسش‌هایی نظیر : در چه صورتی یک جسم ساکن می‌ماند؟ چگونه می‌توان جسم ساکنی را به حرکت درآورد؟ چه عاملی باعث تغییر سرعت جسم می‌شود؟ چه عاملی باعث تغییر در حرکت و به‌طور کلی چه عاملی باعث تغییر در وضعیت جسم می‌شود؟ و ... خودداری کردیم.

در این فصل می‌خواهیم این پرسش‌ها را طرح کرده و پاسخ آن‌ها را بیابیم. برای یافتن پاسخ این پرسش‌ها، باید در ابتدا با کمیتی به نام نیرو بیش‌تر آشنا شویم.

۳ــ۱ــ نیرو

در کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی تا حدودی با «نیرو» آشنا شده‌اید. در مکالمه‌های روزانه از این واژه استفاده می‌کنید. منظور از این واژه چیست؟ ساده‌ترین پاسخ این است که بگوییم «هرگاه بخواهیم جسمی را برانیم و یا بکشیم، به آن نیرو وارد می‌کنیم». برای شناخت بیشتر نیرو، بهتر است به این پرسش پاسخ دهیم که «**اثر نیرو بر یک جسم چیست؟**»

فعالیت ۳ــ۱

در هر یک از شکل‌های (۳ــ۱)، اثری را که نیرو بر جسم گذاشته است، شرح دهید.

برای برداشتن یک کتاب از قفسه کتاب‌ها، باید دست شما به آن برسد تا با وارد کردن نیرو به کتاب، بتوانید آن را بردارید. آیا ممکن است بدون آن که دست شما به کتاب برسد، به آن نیرو وارد کنید؟ برای اعمال نیروی دست بر کتاب، وجود دست و کتاب لازم است.



شکل ۳ـ۱

در بازی فوتبال، وقتی توپ به طرف شما پرتاب می‌شود، اگر توپ به پای شما یا به جسم دیگری برخورد نکند، آیا مسیر توپ تغییر می‌کند؟ برای آن که به توپ نیرو وارد شود و مسیر آن تغییر کند، وجود پا و توپ لازم است تا در تماس پا به توپ، به آن نیرو وارد شود.

فعالیت ۳ـ۲

به شکل (۳ـ۲) نگاه کنید. این تصویر، سیبی را در حال افتادن نشان می‌دهد.
پاسخ پرسش‌های صفحهٔ بعد را در کلاس به بحث بگذارید :

الف ــ چه عاملی باعث سقوط سیب شده است؟

ب ــ این نیرو را چه جسمی به سیب وارد می‌کند؟

پ ــ آیا بین سیب و این جسم تماس برقرار است؟



شکل ۳ــ۲

یک آهن‌ربا، از **راه دور** به یک قطعه آهن نیرو وارد می‌کند و آن را به سوی خود می‌کشد. خورشید، **از فاصله‌ی بسیار دور**، بر سیاره‌های منظومه خورشیدی نیرو وارد می‌کند.

با توجه به آن‌چه که تاکنون بیان شد، می‌توان نیرو را به‌صورت زیر توصیف کرد :

۱ــ نیرو عاملی است که اگر بر یک جسم وارد شود، باعث تغییر در وضعیت حرکت آن جسم می‌شود. مثلاً از یک مکان به مکان دیگر می‌رود.

۲ــ نیرو، برهم‌کنش (تأثیر) دو جسم بر یکدیگر است.

۳ــ تأثیر دو جسم بر هم، ممکن است ناشی از تماس دو جسم باشد و یا دو جسم از راه دور بر یکدیگر نیرو وارد کنند.

نیرو چه ویژگی‌هایی دارد؟ نیرو کمیتی برداری و دارای اندازه و جهت است. تجربه‌های روزانه نشان می‌دهد که اگر بخواهیم جسمی مثلاً یک توپ فوتبال را به فاصلهٔ نزدیکی پرتاب کنیم، باید به آن نیروی کوچکی وارد کنیم و اگر بخواهیم آن را به فاصلهٔ دورتری پرتاب کنیم، باید نیروی بزرگتری به آن وارد کنیم. مثلاً در هنگام زدن پنالتی در بازی فوتبال، برای آن که دروازه‌بان نتواند توپ را بگیرد، باید با وارد کردن نیروی بزرگتری به توپ، آن را با سرعت بیشتری به سوی دروازه شوت کنیم. از طرف دیگر برای آن که توپ از دسترس دروازه‌بان خارج باشد، نیرو را در جهتی بر توپ وارد و روانهٔ دروازه می‌کنیم که احتمال می‌دهیم دروازه‌بان به آن سمت حرکت نمی‌کند.

بزرگی (اندازه) نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیریم. برای آشنایی با چگونگی کار نیروسنج آزمایش (۳ــ۱) را انجام دهید.

اندازه‌گیری نیرو: یکای اندازه‌گیری نیرو، نیوتون (با نماد N) نام دارد که با تعریف آن، در همین فصل آشنا می‌شوید. نیرو را به کمک تأثیری که بر یک جسم می‌گذارد، اندازه‌گیری می‌کنیم. با تأثیر نیرو بر یک فنر آشنا هستید و می‌دانید که اگر یک سر فنری را به نقطه‌ای محکم کنید و به سر دیگر آن نیرویی وارد کرده و آن را بکشید، طول فنر افزایش می‌یابد. اگر نیروی وارد بر فنر را افزایش دهید، افزایش طول فنر هم بیشتر می‌شود.

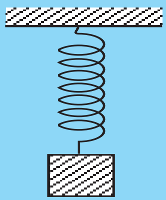
آزمایش ۳ــ۱

وسایل لازم: فنر، وزنه‌هایی با جرم‌های متفاوت، خط‌کش

۱ــ فنر را از یک نقطه بیاویزید و طول آن را اندازه‌گیری کنید.

۲ــ وزنه‌های مختلف را به انتهای فنر آویخته و بعد از آن که دستگاه وزنه ــ فنر به حال سکون درآمد، طول فنر را اندازه بگیرید.

۳ــ جدول زیر را تکمیل کنید و نتیجه آزمایش را در گروه خود تفسیر کنید و به کلاس ارائه دهید.



شکل ۳ــ۳

شماره آزمایش	طول فنر بدون وزنه	وزن وزنه آویخته به فنر W	طول فنر با وزنه	تغییر طول فنر (x)	نسبت $\frac{W}{x}$
۱					
۲					
۳					
۴					

آزمایش‌های متعدد مانند آزمایش (۳ــ۱) نشان می‌دهد که تغییر طول فنر، با اندازهٔ نیروی وارد بر آن متناسب است. اگر اندازه نیروی وارد بر فنر را با نماد F و اندازهٔ تغییر طول فنر را با x نشان دهیم، بین آن‌ها رابطهٔ زیر برقرار است.

$$F = kx \quad (۱ــ۳)$$

ضریب k در رابطه (۳ــ۱)، ثابت نیروی فنر نام دارد. ثابت نیروی فنر از مشخصات فنر است.

در رابطهٔ (۳ــ۱) نیرو برحسب نیوتون (N)، x برحسب متر (m) و k بر حسب نیوتون بر متر(N/m) است.

مثال ۳ـ۱

ثابت یک فنر $۲۵۰۰ N/m$ و طول آن $۱۲cm$ است. فنر را از یک نقطه آویزان کرده و به انتهای آن وزنهٔ ۵۰ نیوتونی می‌آویزیم. طول فنر چند سانتی‌متر خواهد شد؟

$$F = kx$$
$$۵۰ = ۲۵۰۰x$$
$$x = ۰/۰۲m = ۲cm$$
$$x = l_۲ - l_۱$$
$$۲ = l_۲ - ۱۲$$
$$l_۲ = ۱۴cm$$

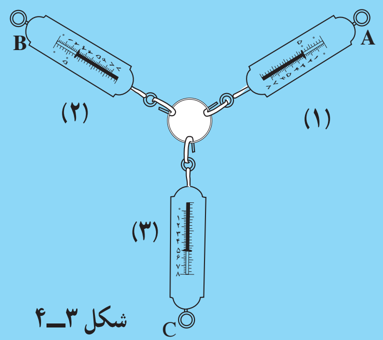
برای آن که مطمئن شویم که نیرو کمیتی برداری است، باید ببینیم که نیرو از جمع برداری پیروی می‌کند یا خیر؟

برای حصول این اطمینان، آزمایش (۳ـ۲) را انجام دهید.

آزمایش ۳ـ۲

وسایل لازم: نیروسنج ۳ عدد، یک قطعه چوب، یک حلقه، قلاب و میخ چند عدد

۱ـ مطابق شکل(۳ـ۴)، دو نیروسنج را به حلقه وصل کنید و روی قطعه‌چوب افقی قرار دهید. سر دیگر نیروسنج (۱) را به میخی که در A کوبیده‌اید و سر دیگر نیروسنج(۲) را به میخ B وصل کنید.



شکل ۳ـ۴

۲ـ نیروسنج سوم را نیز به حلقه وصل کنید و آن را آن‌قدر بکشید تا هر سه نیروسنج به حالت کشیده درآیند. در همین وضعیت سر دیگر آن را به میخی که در قطعه‌چوب فرو برده‌اید (میخ C) وصل کنید.

در این حالت، نیروسنج C، با نیرویی که برحلقه وارد می‌کند، اثر کششی دو نیروسنج دیگر را خنثی می‌کند. در نتیجه، حلقه ساکن می‌ماند.

۳ـ اندازهٔ نیرویی که هر نیروسنج به حلقه وارد می‌کند را یادداشت کنید. اگر

اندازهٔ نیروهایی که سه نیروسنج نشان می‌دهند را به‌ترتیب با F_1 و F_2 و F_3 نشان دهیم، آیا F_3 برابر $F_1 + F_2$ است؟ آیا می‌توانید بین اندازهٔ این نیروها رابطه‌ای بنویسید؟ نتیجهٔ این آزمایش را در گروه خود تفسیر و به کلاس گزارش کنید.

۳ــ۲ــ قانون‌های حرکت

در بخش‌های قبل دیدیم که نیرو عامل تغییر حرکت در اجسام است. اما رابطهٔ میان نیرو و حرکت چگونه است؟ قانون‌هایی که رابطهٔ میان نیرو و کمیت‌های مربوط به حرکت را بیان می‌کنند، قانون‌های حرکت می‌نامیم.

نیوتون، دانشمند انگلیسی با اطلاع از نظرهای دانشمندان قبل از خود، موفق شد قانون‌های حرکت را که امروزه به نام خود او «قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت» نام دارد، در کتاب اصول خود بیان کند. این قانون‌ها شامل سه قانون به شرح زیر هستند.

قانون اول نیوتون: نیوتون، قانون اول را به صورت زیر بیان کرده است:

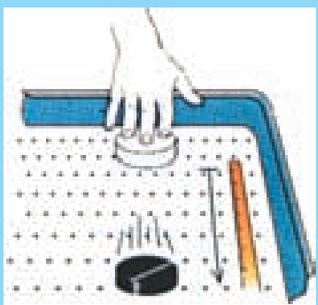
«یک جسم حالت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آن که تحت تأثیر نیرویی، مجبور به تغییر آن حالت شود.»

از قانون اول نیوتون نتیجه می‌شود که اگر به جسمی نیرو وارد نشود، چنانچه ساکن باشد، ساکن می‌ماند و اگر در حرکت باشد به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

برای بررسی بیشتر قانون اول نیوتون آزمایش (۳ــ۳) را انجام دهید.

آزمایش ۳ـ۳ تختِ هوا

تختِ هوا وسیله‌ای است برای تحقیق دربارهٔ قانون‌های حرکت. این وسیله محفظه‌ای است به‌شکل مکعب مستطیل که در سطح بالایی آن تعداد بسیار زیادی روزنهٔ ریز وجود دارد. توسط یک تلمبه، هوا با فشار وارد این محفظه می‌شود و از روزنه‌های آن خارج می‌شود. هنگام آزمایش، باید سطح آن را به صورت افقی قرار داد.



شکل ۳ــ۵ــ تخت هوا

اگر قرص سبک و کوچکی را روی سطح آن قرار دهیم، هوایی که از روزنه‌ها با سرعت خارج می‌شود، قرص را روی لایه‌ی نازکی از هوا قرار می‌دهد و به این ترتیب از تماس مستقیم آن با سطح تخت هوا جلوگیری به‌عمل می‌آید. اگر به قرص در راستای افقی ضربه بزنیم و به آن سرعت کوچکی در راستای افقی بدهیم، مشاهده می‌شود که قرص به خط راست و با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. می‌توان به کمک فیلم‌برداری درستی این ادعا را ثابت کرد.

علت آن است که نیروی اصطکاک بین قرص و لایهٔ نازک هوای زیر آن، بسیار ناچیز است. در نتیجه وقتی قرص با یک سرعت به حرکت درمی‌آید، در ضمن حرکت در راستای افقی به آن نیرویی وارد نمی‌شود و بنابر قانون اول نیوتون، قرص به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

به جسم‌های اطراف خود نگاه کنید. آیا جسمی را می‌یابید که به آن نیرو وارد نشود؟ به‌همهٔ جسم‌ها نیروی وزن وارد می‌شود. در نتیجه نمی‌توان جسمی را یافت که به آن نیرو وارد نشود تا بتوان قانون اول نیوتون را به‌طور کامل مورد آزمایش قرار داد.

هرگاه به جسمی که در حال حرکت است نیرویی وارد نشود (مانند جسمی که از زمین بسیار دور شود و به ماه و یا سیاره‌های دیگر نیز نزدیک نباشد) جسم با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. این مسأله را بشر در فرستادن سفینه‌های فضایی به خارج از زمین تقریباً آزموده است. وقتی سفینه به اندازهٔ کافی از زمین دور می‌شود، با موتور خاموش و با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد.

لَختی : از قانون اول نیوتون، نتیجه می‌شود که اجسام تمایل دارند وضعیت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ کنند. به این تمایل اجسام ، لختی گفته می‌شود. به‌همین دلیل به قانون اول نیوتون، قانون لختی نیز می‌گویند.

فعالیت ۳ـ۳

وقتی در ماشین ساکنی نشسته‌اید و ماشین ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به‌عقب پرتاب می‌شوید. اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشید، در توقف ناگهانی، به جلو پرتاب می‌شوید. توضیح دهید که آیا به شما به‌طرف عقب و یا جلو نیرویی وارد شده که باعث پرتاب شما شده‌است؟

قانون دوم نیوتون: از قانون اول نیوتون استنباط می‌شود که اگر به جسم نیرو وارد شود، نه‌تنها جسم ساکن نمی‌ماند، بلکه حرکتش شتاب‌دار خواهد بود. رابطهٔ میان نیروی وارد بر جسم و شتاب حرکت جسم، موضوع قانون دوم نیوتون است. معمولاً به جسم چند نیرو وارد می‌شود.

قانون دوم نیوتون به‌صورت زیر بیان شده است :

«اگر به یک جسم نیروهایی وارد شود، شتابی می‌گیرد که با برایند نیروهای وارد برجسم، نسبت مستقیم دارد و با آن هم جهت است و با جرم جسم نسبت وارون دارد.»

اگر جرم جسم برابر m و نیروی وارد بر آن برابر $\vec{F}$ باشد، قانون دوم نیوتون با رابطهٔ زیر بیان می‌شود :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \qquad (۳_۲)$$

یکای نیرو، نیوتون (N) از رابطهٔ (۳ــ۲) تعریف می‌شود. اگر در این رابطه، جرم برحسب کیلوگرم و شتاب برحسب متر بر مجذور ثانیه قرار داده شود، نیرو برحسب $kg.m/s^۲$ خواهد شد که آن را نیوتون می‌نامیم. بنابراین «یک نیوتون، نیرویی است که اگر به جسمی به جرم یک کیلوگرم وارد شود، به آن شتابی برابر یک متر بر مجذور ثانیه بدهد.»

مثال ۳ــ۲

جسمی به جرم ۲۰kg با شتاب $۱/۵\,m/s^۲$ در حرکت است. برایند نیروهای وارد بر جسم چند نیوتون است؟

حل:

$$a = \frac{F}{m}$$

$$۱/۵ = \frac{F}{۲۰}$$

$$F = ۱/۵ \times ۲۰ = ۳۰N$$

مثال ۳ــ۳

به هر یک از دو جرم $m_۱ = ۵kg$ و $m_۲ = ۱۲kg$ نیروی ۱۵N وارد می‌کنیم. شتاب هر یک از دو جرم را حساب کنید.

حل:

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a_{۱} = \frac{۱۵}{۵} = ۳m/s^{۲}$$

$$a_{۱} = \frac{۱۵}{۱۲} = ۱/۲۵m/s^{۲}$$

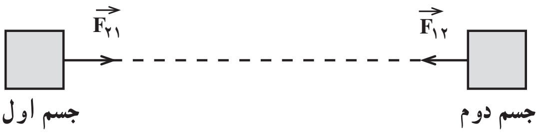
قانون سوم نیوتون: قانون اول نیوتون، وضعیت جسم را در غیاب نیرو و قانون دوم، وضعیت آن را وقتی تحت تأثیر نیرو است، توصیف می‌کند. اما این قانون‌ها، مشخص نمی‌کنند که نیروی وارد بر جسم از کجا به آن وارد می‌شود.

همان طوری که گفته شد و تجربه‌های روزانه نیز نشان می‌دهد همواره یک جسم به جسم دیگر نیرو وارد می‌کند. بازیگر فوتبال، با پا به توپ ضربه می‌زند، یعنی پا به توپ نیرو وارد می‌کند. شخصی که یک جسم را روی زمین می‌کشد، به آن نیرو وارد می‌کند. نیوتون با بیان قانون سوم، مشخص می‌کند که نیروی وارد بر یک جسم از طرف جسم دیگر است و علاوه‌بر آن معلوم می‌کند که وارد کردن نیرو، یک جانبه نیست و همواره عملی دو جانبه است. بیان قانون سوم نیوتون به‌صورت زیر است:

«هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم هم به جسم اول نیرویی برابر آن، ولی در خلاف جهت وارد می‌کند.»

اگر نیرویی که جسم اول به جسم دوم وارد می‌کند را نیروی کُنش (عمل) بنامیم، نیروی جسم دوم که بر جسم اول وارد می‌شود، واکنش (عکس‌العمل) خواهد بود. در شکل (۳ـ۶) می‌توان نیروی $\vec{F}_{۱۲}$ (نیرویی که جسم اول به دوم وارد می‌کند) را کُنش، و نیروی $\vec{F}_{۲۱}$ (نیرویی که جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند)، را واکنش آن نامید.

$$\vec{F}_{۱۲} = -\vec{F}_{۲۱} \rightarrow F_{۱۲} = F_{۲۱}$$



شکل ۳ـ۶

برای شناخت نیروهای کنش و واکنش توجه کنید که:

این دو نیرو همواره هم‌اندازه، هم‌راستا و در سوهای مخالف یکدیگرند.

به دو جسم وارد می‌شوند، نیروی کنش را جسم اول به دوم و نیروی واکنش را جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند.

این دو نیرو هم‌نوع‌اند. به‌عنوان مثال یا هر دو گرانشی و یا هر دو الکتریکی‌اند.

مثال ۳ــ۴

الف ــ نیروهای وارد بر سیبی را که در حال سقوط آزاد است ، مشخص کنید.

ب ــ مشخص کنید که واکنش این نیروها به چه جسم‌هایی وارد می‌شوند؟

حل: به سیب در حال سقوط، تنها نیروی وزن از طرف زمین وارد می‌شود. اگر سیب را جسم ۱ و زمین را جسم ۲ بگیریم، نیروی $\vec{F}_{21}$ را زمین به سیب وارد می‌کند. واکنش این نیرو، نیروی $\vec{F}_{12}$ است که توسط سیب به زمین وارد می‌شود (شکل ۳ــ۷).



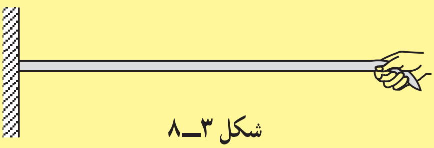
شکل ۳ــ۷

فعالیت ۳ــ۴

با توجه به قانون دوم نیوتون توضیح دهید که چرا سیب در مثال (۳ــ۴) تحت تأثیر نیرویی که زمین به آن وارد می‌کند با شتاب g سقوط می‌کند، اما زمین تحت تأثیر نیرویی که سیب به آن وارد می‌کند، عملاً ساکن می‌ماند.

مثال ۳ــ۵

مطابق شکل (۳ــ۸) یک سر طنابی را به دیوار محکم کرده و سر



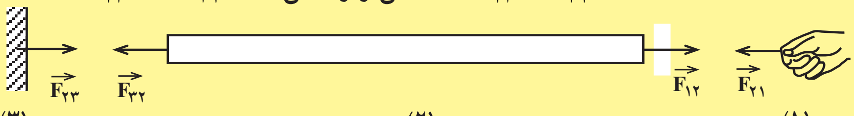
شکل ۳ــ۸

دیگرش را با دست می‌کشیم. اگر طناب از دیوار جدا نشود، نیروهای کنش و واکنش بین «دست و طناب» و «دیوار و طناب» را مشخص کنید.

حل: در قسمت‌های مختلف شکل (۳ــ۹)، نیروهای بین دست و طناب و دیوار را نشان داده‌ایم. در این شکل‌ها، دست را جسم ۱، طناب را جسم ۲ و دیوار را جسم ۳ نامیده‌ایم.

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ کنش و واکنش $\Rightarrow F_{12} = F_{21}$

$\vec{F}_{23} = -\vec{F}_{32}$ کنش و واکنش $\Rightarrow F_{23} = F_{32}$



شکل ۳ــ۹

فعالیت ۳ــ۵

با توجه به مثال (۳ــ۵) به پرسش‌های زیر پاسخ دهید :

الف ــ به کمک یکی از قانون‌های نیوتون پاسخ دهید که آیا نیروی $\vec{F}_{23}$ و $\vec{F}_{21}$ هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگرند یا خیر؟

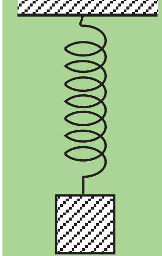
ب ــ با دلیل بیان کنید که آیا دو نیروی $\vec{F}_{23}$ و $\vec{F}_{21}$ کنش و واکنش یکدیگراند یا خیر؟

فعالیت ۳ــ۶

جسمی را به یک سر فنری وصل کرده و فنر را از سر دیگر آن آویزان کرده‌ایم. اگر دستگاه جسم ــ فنر در حال سکون باشد (شکل ۳ــ۱۰)،

الف ــ نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید.

ب ــ واکنش این نیروها را مشخص کنید و توضیح دهید که هرکدام به چه جسمی وارد می‌شوند؟



شکل ۳ــ۱۰

۳ــ۳ــ معرفی نیروها

دیدیم که نیرو عامل ایجاد شتاب و در نتیجه، عامل تغییر در سرعت جسم است. بنابراین برای بررسی حرکت یک جسم، باید نیروهای وارد بر آن را مشخص و اندازه‌گیری کنیم.

برای شناخت و اندازه‌گیری یک نیرو باید عامل‌های مؤثر بر آن را معلوم کرد. این مهم، توسط قانون‌های نیرو انجام می‌شود. قانون یک نیرو، عامل‌های مؤثر در ایجاد آن نیرو را مشخص می‌کند. هر قانون نیرو، رابطه‌ای را به‌دست می‌دهد که به کمک آن می‌توانیم اندازهٔ نیرو را محاسبه کنیم. قانون‌های نیرو به کمک آزمایش و تجربه‌های گوناگون رابطه‌ای را به‌دست می‌دهند که عامل‌های مؤثر در اندازهٔ نیرو را تعیین می‌کند.

اکنون به بررسی **قانون گرانش** نیوتون می‌پردازیم.

قانون گرانش نیوتون: آیا تاکنون از خود پرسیده‌اید که چرا آب در جویبارها به طرف پایین حرکت می‌کند؟ و یا چرا وقتی یک جسم را به بالا پرتاب می‌کنیم، پس از مدتی به پایین می‌افتد؟

از زمان‌های دور، بشر می‌دانست که زمین، جسم‌های مجاور خود را به سوی خود می‌کشد. به این نیرو، نیروی گرانی گفته می‌شود. نیوتون دانشمند انگلیسی با بیان **قانون گرانش**، نشان داد که نیروی گرانش میان هر دو جسم وجود دارد.

بنابه قانون گرانش نیوتون، هر دو جرم، همواره یکدیگر را می‌ربایند. بیان این قانون به‌صورت زیر است :

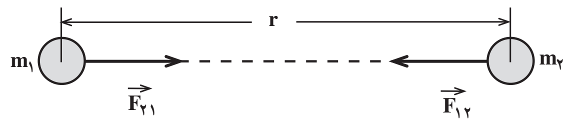
«نیروی گرانشی میان دو ذره با حاصل ضرب جرم دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر، نسبت وارون دارد.»

اگر جرم دو ذره $m_۱$ و $m_۲$ و فاصلهٔ میان آن‌ها مطابق شکل (۳ــ۱۱) برابر r باشد، اندازهٔ نیروی گرانشی میان دو ذره (F) از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$\vec{F}_{۱۲} = -\vec{F}_{۲۱} \quad \text{کنش و واکنش} \Rightarrow F_{۱۲} = F_{۲۱} = F$$

$$F = G\frac{m_۱ . m_۲}{r^۲} \qquad (۳ــ۴)$$

در این رابطه G ثابت گرانش عمومی نام دارد. در SI که یکای جرم، کیلوگرم (kg)، یکای نیرو،



شکل ۳ــ۱۱ــ کنش و واکنش

نیوتون (N) و یکای فاصله، متر (m) است، G برابر است با :

$$G=۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}N.m^۲/kg^۲$$

مثال ۳ـ۶

دو جسم به جرم‌های ۵kg و ۱۲kg در فاصلهٔ یک متر از یکدیگر واقع شده‌اند. نیروی گرانش میان آن‌ها را محاسبه کنید.

حل:

$$F=G\frac{m_۱.m_۲}{r^۲}$$

$$F=۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\times\frac{۵\times۱۲}{۱}$$

$$F=۴\times۱۰^{-۹}N$$

همان‌طور که محاسبه بالا نشان می‌دهد،نیروی گرانشی میان جسم‌های با جرم کوچک، قابل ملاحظه نیست.

تمرین ۳ـ۱

جرم زمین تقریباً $۶\times۱۰^{۲۴}kg$ و شعاع زمین تقریباً $۶/۴\times۱۰^۶m$ است. نیروی گرانی زمین که به شما وارد می‌شود، حدود چند نیوتون است؟ این نیرو چه نام دارد؟ برای محاسبهٔ این نیرو، جرم زمین را متمرکز در مرکز زمین فرض کنید.

وزن ــ شتاب گرانی: در فصل دوم در بحث سقوط آزاد، دیدید که شتاب در حرکت سقوط آزاد، برای تمام جسم‌ها یکسان و برابر g است. نیرویی که باعث ایجاد این شتاب می‌شود را از قانون دوم نیوتون محاسبه می‌کنیم.

$$F=ma$$

$$a=g$$

$$F=mg \qquad (۳ـ۵)$$

از طرف دیگر، می‌دانیم که نیروی وزن، باعث سقوط جسم می‌شود. اگر نیروی وزن را با نماد W نشان دهیم، با توجه به رابطهٔ (۳ـ۵) خواهیم داشت :

$$F = W$$

$$W = mg \qquad (۳\text{–}۶)$$

وزن یک جسم برروی زمین، نیروی گرانی است که زمین به جسم وارد می‌کند. اگر جرم و شعاع زمین را به‌ترتیب با M_e و R_e نشان دهیم، با استفاده از رابطهٔ (۳ــ۴) نیز می‌توان وزن جسم یعنی نیروی گرانی زمین بر جسم را حساب کرد.

$$W = F$$

$$W = G\frac{m.M_e}{R_e^۲} \qquad (۳\text{–}۷)$$

با مقایسهٔ رابطهٔ (۳ــ۶) و (۳ــ۷) نتیجه می‌شود :

$$mg = G\frac{m.M_e}{R_e^۲}$$

$$g = G\frac{M_e}{R_e^۲} \qquad (۳\text{–}۸)$$

تمرین ۳ــ۲

مقدار g را از رابطهٔ (۳ــ۸) محاسبه کنید. برای این محاسبه از مقدارهای داده‌شده درتمرین ۳ ــ۱ استفاده کنید.

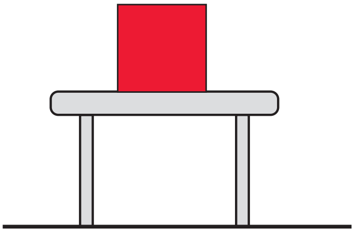
فعالیت ۳ــ۷

۱ــ تحقیق کنید که ضریب ثابت گرانش عمومی، G، نخستین بار توسط چه کسی محاسبه شده است. خلاصه‌ای از روش کار او را به کلاس گزارش کنید.

۲ــ شاید برایتان جالب باشد که بدانید حدود ۲۲۰۰ سال پیش شعاع زمین با روش ساده‌ای توسط «اراتوستن» محاسبه شده است. روش کار او را تحقیق و به‌کلاس گزارش کنید.

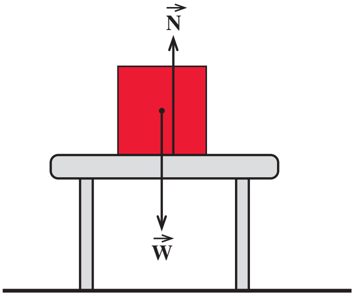
تمرین ۳ــ۳

بعد از اندازه‌گیری G، جرم زمین به کمک رابطهٔ (۳ــ۷) محاسبه شد. با توجه به این که مقدار متوسط g در سطح زمین حدود $۹/۸ m/s^۲$ و شعاع زمین حدود $۶/۴\times۱۰^۶ m$ است، جرم زمین را حساب کنید.



شکل ۳ــ۱۲

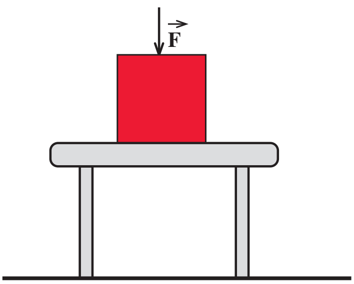
نیروی عمودی تکیه‌گاه: جسمی را در نظر بگیرید که مطابق شکل (۳ــ۱۲) روی سطح افقی میزی به حال سکون قرار دارد. چه نیروهایی به جسم وارد می‌شود؟ اگر جرم جسم برابر m باشد، نیروی وزن $W = mg$ را زمین به جسم وارد می‌کند و آن را به‌سوی پایین می‌کشد. چرا جسم به پایین حرکت نمی‌کند؟



شکل ۳ــ۱۳

چون جسم ساکن است، شتاب حرکت آن صفر است $(a = 0)$. از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برایند نیروهای وارد بر جسم صفر است $(F = ma = 0)$. در نتیجه، باید نیرویی برابر وزن جسم اما در خلاف جهت به آن وارد شود تا با خنثی کردن نیروی وزن، مانع شتاب گرفتن جسم شود. با توجه به وضعیت جسم در شکل (۳ــ۱۲) این نیرو توسط میز به جسم وارد می‌شود. در شکل (۳ــ۱۳) نیروهای وارد برجسم نشان داده شده‌اند. نیروی N، که از طرف میز برجسم وارد می‌شود را «نیروی عمودی تکیه‌گاه» می‌نامیم. با استفاده از قانون دوم نیوتون، نتیجه می‌شود :

$$F = ma = 0$$
$$N - W = 0$$
$$N = W$$

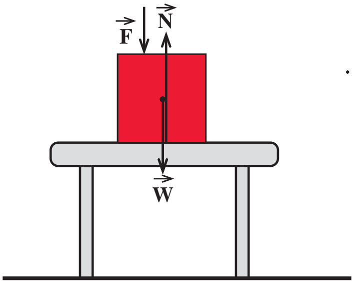


شکل ۳ــ۱۴

اکنون فرض کنید مطابق شکل (۳ــ۱۴) نیرویی به اندازهٔ F را به‌طور قائم و رو به پایین بر جسم وارد کنیم. آیا نیروی عمودی تکیه‌گاه که میز بر جسم وارد می‌کند، تغییر می‌کند؟ با روش مشابه قبل، می‌توان به پرسش بالا پاسخ داد.

نیروهای وارد بر جسم را در شکل (۳ــ۱۵) نشان داده‌ایم و چون شتاب جسم صفر است، بنابه قانون دوم نیوتون داریم :

$$F = ma = 0$$
$$N - F - W = 0$$
$$N = F + W$$

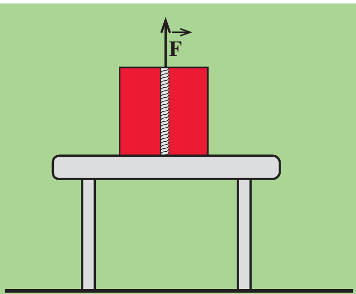


بنابراین نیروی عمودی تکیه‌گاه، افزایش یافته است.

شکل ۳ــ۱۵

فعالیت ۳ـ ۸

فرض کنید مطابق شکل(۳ــ۱۶)، طنابی را به دور یک جسم بسته و آن را با نیروی F به سوی بالا بکشیم. اگر جسم، هم‌چنان بر سطح میز ساکن بماند، نیروی عمودی تکیه‌گاه وارد بر آن را محاسبه کنید.



شکل ۳ــ۱۶

نیروی عمودی تکیه‌گاه، یکی از نیروهایی است که برای آن *قانون نیرو نداریم*، یعنی *رابطه‌ای* وجود *ندارد تا به‌کمک آن* بتوان اندازه این نیرو را محاسبه کرد. همان‌طور که دیدید، اندازهٔ این نیرو را به کمک قانون دوم نیوتون، محاسبه می کنیم.

فعالیت ۳ـ۹

روی یک ترازوی فنری بایستید و عددی را که ترازو در حالت‌های زیر نشان می‌دهد، بخوانید :

الف ــ ساکن روی ترازو ایستاده‌اید.

ب ــ ضمن آن که روی ترازو ایستاده‌اید، با دست، میزی را که در کنارتان قرار دارد، به سمت پایین فشار دهید.

پ ــ با دست، میز را به بالا بکشید.

مشاهده خود را یادداشت کنید و به کلاس گزارش دهید.

مثال ۳ـ۷

شخصی به جرم ۵۰kg درون آسانسوری ایستاده است. نیروی عمودی‌ای که

کف آسانسور به شخص وارد می‌کند را در حالت‌های زیر محاسبه کنید :

الف ــ آسانسور ساکن است.

ب ــ آسانسور با سرعت ثابت به طرف بالا در حرکت است.

پ ــ آسانسور با شتاب $۲m/s^۲$ به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.

g را برابر $۱۰m/s^۲$ بگیرید.

حل:

الف ــ چون آسانسور ساکن است، شتاب حرکت صفر است. نیروهای وارد بر شخص در شکل (۳ــ۱۷) نشان داده شده است.

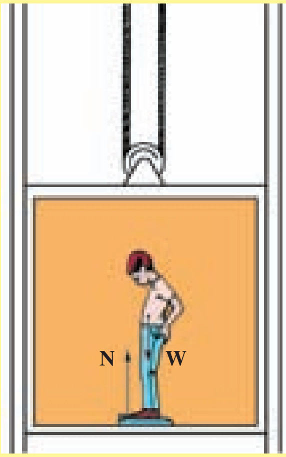
$a = ۰$

$F = N - W = ۰$

$N = W = mg$

$N = ۵۰ \times ۱۰ = ۵۰۰N$

ب ــ در این حالت نیز شتاب حرکت صفر است و با محاسبه‌ای مانند حالت الف نتیجه می‌شود که $N = ۵۰۰N$ است.



پ ــ در این حالت، شتاب حرکت $۲m/s^۲$ و به‌طرف بالا است. با توجه به قانون دوم نیوتون، خواهیم داشت :

$F = ma$

$N - W = ma$

$N - ۵۰۰ = ۵۰ \times ۲$

$N = ۶۰۰N$

شکل ۳ــ۱۷

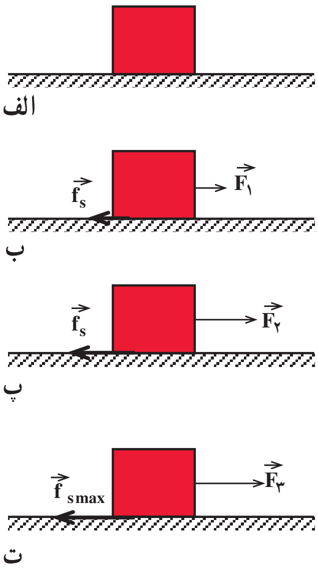
نیروی اصطکاک: در تجربه‌های روزانه دیده‌اید که اگر صندوق سنگینی روی سطح افقی ساکن باشد، برای به حرکت درآوردن آن باید نیروی بزرگی به آن وارد کنید و اگر نیروی کوچکی به آن وارد کنید صندوق ساکن می‌ماند و یا اگر دست از کشیدن (یا هُل دادن) جسم متحرک روی سطح افقی

بردارید، سرعت جسم کاهش یافته و پس از مدتی می‌ایستد. و یا اگر موتور اتومبیلی را که روی سطح افقی در حرکت است از دنده خلاص کنیم، حتی بدون آن که ترمز گرفته شود، اتومبیل پس از مدتی می‌ایستد. با توجه به این که نیرو عامل تغییر سرعت است، در تمام موردهای یاد شده، باید نیرویی در خلاف جهت حرکت، به جسم وارد شده باشد. این نیرو، **اصطکاک** نام دارد. نیروی اصطکاک را در دو حالت بررسی می‌کنیم :

الف ــ جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد،کشیده شده ولی، ساکن می‌ماند. در این حالت، نیروی اصطکاک را **نیروی اصطکاک ایستایی** می‌نامیم.

ب ــ جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد در حرکت باشد. در این حالت، نیروی اصطکاک را نیروی **اصطکاک جنبشی** می‌نامیم.

الف ــ اصطکاک ایستایی: فرض کنید جسمی مطابق شکل (۳ــ ۱۸ــ الف) روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی $\vec{F}$ را وارد می‌کنیم. در ابتدا اندازهٔ این نیرو را کوچک و برابر F_1 می‌گیریم به‌طوری که جسم ساکن بماند شکل (۳ــ۱۸ ــ ب)، چون جسم ساکن است، بنا به قانون دوم نیوتون باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. بنابراین باید نیرویی افقی مانند $\vec{f_s}$ به جسم وارد شده باشد تا با خنثی کردن اثر نیروی $\vec{F_1}$، مانع شتاب گرفتن و حرکت جسم شده باشد. نیروی $\vec{f_s}$ را سطح تکیه‌گاه به جسم وارد می‌کند. به این نیرو، «**نیروی اصطکاک ایستایی**» می‌گوییم.



شکل ۳ــ۱۸

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = 0$$

$$F_1 - f_s = 0$$

$$f_s = F_1$$

اکنون فرض کنید اندازهٔ نیروی $\vec{F_1}$ را افزایش داده و به $\vec{F_2}$ برسانیم شکل (۳ــ۱۸ــ پ). اگر جسم همچنان ساکن بماند، با استدلالی شبیه بالا نتیجه می‌گیریم که نیروی اصطکاک

ایستایی افزایش یافته و برابر $\vec{F_2}$ شده است. بنابراین با افزایش نیروی $\vec{F}$ نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش می‌یابد. با افزایش نیروی $\vec{F}$ به حالتی می‌رسیم که اگر اندازهٔ آن برابر F_3 شود، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد. این بدان معناست که اگر اندازهٔ نیروی $\vec{F}$ از مقدار $\vec{F_3}$ اندکی بیشتر شود، دیگر جسم ساکن نمانده و شروع به حرکت می‌کند. به نیروی اصطکاک در این حالت، «**نیروی اصطکاک در آستانهٔ حرکت**» گفته می‌شود و با $\vec{f}_{s\max}$ نشان داده می‌شود شکل (۳ــ۱۸ــ ت).

از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که در حالت اخیر، $f_{s\max} = F_3$ است. از طرف دیگر، آزمایش نشان می‌دهد که اندازهٔ نیروی اصطکاک در آستانهٔ حرکت را می‌توان از رابطهٔ زیر نیز به‌دست آورد:

$$f_{s\max} = \mu_s . N \qquad (۳ــ۹)$$

در این رابطه، N نیروی عمودی تکیه‌گاه است و μ_s ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد. تجربه و آزمایش‌های گوناگون نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک ایستایی به عامل‌هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آن‌ها و ... بستگی دارد.

توجه کنید که رابطهٔ (۳ــ۹) فقط در حالتی درست است که جسم در آستانهٔ حرکت باشد. بنابراین نیروی اصطکاک ایستایی همواره از مقدار «$\mu_s N$» کوچکتر، و بیشینهٔ آن برابر $\mu_s N$ است. یعنی $f_s \leq \mu_s N$ است.

ب ــ **نیروی اصطکاک جنبشی**: فرض کنید که صندوقی را روی یک سطح افقی هُل می‌دهید، اگر دست از هُل دادن صندوق بردارید، سرعت آن کاهش یافته و پس از مدتی می‌ایستد. اگر اتومبیلی را که روی یک سطح افقی در حال حرکت است ترمز کنید، پس از مدتی اتومبیل می‌ایستد. با توجه به این که نیرو عامل تغییر سرعت است، باید نیرویی در خلاف جهت حرکت، به‌جسم وارد شده باشد. این نیرو **اصطکاک جنبشی** نام دارد.

آزمایش ۳ــ۴

وسایل لازم: یک نیروسنج، دو قطعهٔ چوبی هم جرم به شکل مکعب مستطیل، یک قطعه آهنی و یک آجر ساختمان

۱ــ یک قطعهٔ چوب را مطابق شکل (۳ ــ۱۹) روی یک سطح افقی قرار دهید و یک نیروسنج را به آن وصل کرده و نخ متصل به نیروسنج را از روی قرقره عبور داده و

کفه‌ای به آن بیاویزید. اکنون وزنه‌ای در کفه قرار دهید و مقدار آن را طوری انتخاب کنید که قطعه روی میز با سرعت ثابت به حرکت درآید. لازم است که با تغییر وزنه درون کفه، در هر نوبت ضربهٔ کوچکی به قطعه وارد کنید و این کار را تکرار کنید تا به حالت دلخواه برسید. در این حالت، عددی که نیروسنج نشان می‌دهد را در جدول زیر وارد کنید.

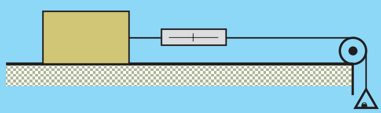
ردیف	جنس قطعه	وزن قطعه	مساحت سطح تماس قطعه با میز	عددی که نیروسنج نشان می‌دهد.
۱				
۲				
۳				

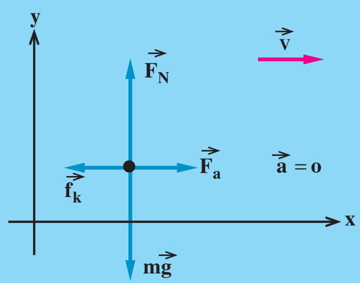
۲ــ آزمایش را تکرار کنید اما قطعه را از وجه‌های دیگر آن روی میز قرار دهید.

۳ــ آزمایش ۱ را با قطعه‌های دیگر تکرار کنید.

۴ــ با قرار دادن دو قطعه چوبی روی هم، آزمایش ۱ را تکرار کنید.

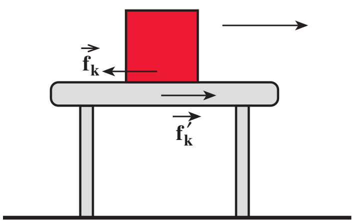
نتیجه آزمایش‌ها را تفسیر کنید.





شکل ۳ــ ۱۹

هرگاه جسمی روی سطح جسم دیگری حرکت کند، نیرویی موازی سطح تماس به هر یک از دو جسم، از طرف جسم دیگر، وارد می‌شود که نیروی **اصطکاک جنبشی** نام دارد. نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر هر یک از دو جسم در جهتی است که می‌خواهد از حرکت دو جسم نسبت به یکدیگر جلوگیری کند. در شکل (۳ــ۲۰) نیروی اصطکاک وارد بر هر یک از دو جسم نشان داده شده است.



شکل ۳ــ ۲۰

در شکل (۳ـ۲۰)، $\vec{f_k}$ نیرویی است که سطح میز به جسم وارد می‌کند و $\vec{f'_k}$ نیرویی است که سطح جسم به میز وارد می‌کند. این دو نیرو، کنش و واکنش‌اند.

از آزمایش‌هایی نظیر آزمایش (۳ـ۴)، نتیجه می‌شود که اندازهٔ نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازهٔ نیروی عمودی تکیه‌گاه است، یعنی $f_k \propto N$ است. این نیرو به طور محسوسی به مساحت سطح تماس دو جسم بستگی ندارد. ضریب این تناسب را با μ_k نشان می‌دهند و به آن **ضریب اصطکاک جنبشی** می‌گویند.

$$f_k = \mu_k N \qquad (۳ـ۱۰)$$

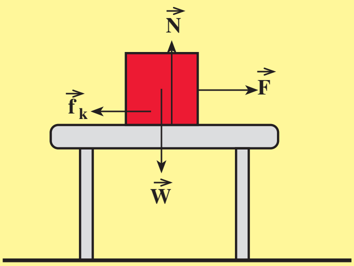
مثال ۳ـ۸

جسمی به جرم 12kg را توسط طنابی که به آن وصل است، روی سطح افقی می‌کشیم. اگر راستای طناب افقی و ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح تماس دو جسم برابر ۰/۲۵ باشد، نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسم چند نیوتون است؟ (g را برابر $۱۰ m/s^۲$ بگیرید).

حل: نیروهای وارد بر جسم در شکل (۳ـ۲۱) نشان داده شده است. چون جسم در امتداد سطح افقی حرکت می‌کند، از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برایند نیروهای وارد بر جسم در راستای قائم صفر است.

$$N - W = ۰$$
$$N = W = mg$$
$$N = ۱۲۰ (N)$$

$$f_k = \mu_k N$$
$$f_k = ۰/۲۵ \times ۱۲۰$$
$$f_k = ۳۰ (N)$$



شکل ۳ـ۲۱

مثال ۳ـ۹

در مثال (۳ـ۸) اگر طناب را با نیروی $F = ۳۶N$ بکشیم، شتاب حرکت جسم چه‌قدر خواهد شد؟

حل: از قانون دوم نیوتون برای محاسبه شتاب، استفاده می‌کنیم.

برایند نیروهای وارد بر جسم برابر است با :

$$F = ۳۶ - ۳۰ = ۶N$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{۶}{۱۲} = ۰/۵ m/s^2$$

۳ــ۴ــ استفاده از قانون‌های نیوتون دربارهٔ حرکت

از قانون‌های نیوتون در حل مسأله‌ها کمک می‌گیریم[۱]. به این ترتیب که ابتدا به کمک قانون‌های نیرو، نیروهای وارد بر جسم را محاسبه می‌کنیم. سپس به‌کمک قانون‌های نیوتون، شتاب حرکت جسم را به‌دست آورده و با استفاده از معادله‌های حرکت، مجهول‌های مسأله را محاسبه می‌کنیم. برای انجام این کار پیشنهاد می‌شود که نکته‌های زیر را رعایت کنید تا حل مسأله راحت‌تر انجام شود :

۱ــ ابتدا جسم مورد نظر را مشخص کنید.

۲ــ شکل ساده‌ای از جسم و تکیه‌گاه آن را رسم کنید.

۳ــ جسم‌هایی که به جسم مورد نظر نیرو وارد می‌کنند را شناسایی کنید.

۴ــ نیروهای وارد بر جسم را در شکلی که رسم کرده‌اید، نشان دهید. توجه کنید که نیرو را جسم‌های دیگر به جسم مورد نظر وارد می‌کنند. در این مورد حتماً باید بتوانید مشخص کنید که هر نیرو را چه جسمی وارد کرده است.

۵ــ نیروی عمودی تکیه‌گاه را محاسبه کرده و به کمک آن نیروی اصطکاک جنبشی را محاسبه کنید.

۶ــ برایند نیروهای وارد بر جسم را حساب کنید.

۷ــ با استفاده از قانون دوم نیوتون، شتاب حرکت یا مجهول دیگر مسأله را به‌دست آورید.

۸ــ معادله‌های حرکت که در حل مسأله مورد نیاز است را نوشته و مجهول مسأله را محاسبه کنید.

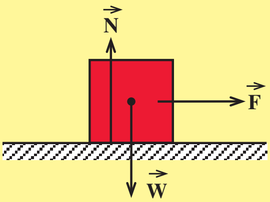
به مثال‌های صفحهٔ بعد توجه کنید.

۱ــ در این کتاب **تنها** مسئله‌هایی بررسی می‌شوند که نیروهای وارد بر جسم در یک راستا قرار دارند و یا بر یکدیگر عمودند. لذا ارائه و ارزش‌یابی هر مسئله‌ای خارج از آن‌چه بیان شد، از هدف‌های برنامهٔ درسی این کتاب نیست.

مثال ۳ـ۱۰

جسمی به جرم 5kg روی سطح افقی بدون اصطکاکی به حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی $F=10N$ وارد می‌کنیم. سرعت جسم را بعد از جابه‌جایی ۲۵ m حساب کنید. $(g=10N/kg)$

حل: به جسم نیروهای وزن، عمودی تکیه‌گاه و نیروی افقی F وارد می‌شود. جسم در راستای قائم حرکت نمی‌کند، بنابراین برایند نیروهای وزن و عمودی تکیه‌گاه صفر است.



شکل ۳ــ۲۲

$$a=\frac{F}{m}$$

$$a=\frac{10}{5}=m/s^2$$

شتاب حرکت جسم ثابت و برابر $2\,m/s^2$ و سرعت اولیه جسم صفر است. بنابراین حرکت جسم، با شتاب ثابت روی خط راست است. با استفاده از رابطه (۲ــ۱۱) داریم :

$$v^2-v_0^2=2a\Delta x$$

$$v^2-0=2\times2\times25$$

$$v=10m/s$$

مثال ۳ـ۱۱

جسمی به جرم 12kg روی یک سطح افقی قرار دارد. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و تکیه‌گاه برابر ۰/۲۵ است. به جسم نیروی افقی 48N وارد می‌کنیم. شتاب جسم را حساب کنید. $(g=10N/kg)$

حل: در شکل (۳ــ۲۳) نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده است.

$$N=W=mg=120N$$

$$f_k=\mu_k N$$

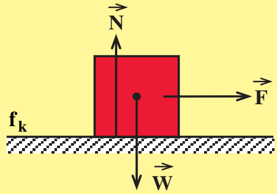
نیروی اصطکاک $f_k = ۰/۲۵ \times ۱۲۰ = ۳۰N$

برایند نیروهای وارد بر جسم $= F - f_k$

$F - f_k = ma$

$۴۸ - ۳۰ = ۱۲a$

$a = ۱/۵ m/s^۲$



شکل ۳ــ۲۳

مثال ۳ــ۱۲

جسمی به جرم ۲kg روی سطحی به حال سکون است. طناب سبکی به جسم بسته و طناب را با نیروی ۲۵N به‌طور قائم بالا می‌کشیم. شتاب حرکت جسم چه‌قدر می‌شود؟

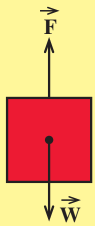
حل: به جسم در ضمن حرکت دو نیرو وارد می‌شود. یکی نیروی وزن و دیگری نیروی کشش طناب که برابر نیروی دست بر طناب است.

برایند نیروهای وارد بر جسم $= F - W$

$F - W = ma$

$۲۵ - ۲۰ = ۲a$

$a = ۲/۵ m/s^۲$



شکل ۳ــ۲۴

مثال ۳ــ۱۳

جسمی روی سطح افقی با نیروی افقی ۱۰/۸N کشیده می‌شود. سرعت جسم در مدت ۵s با شتاب ثابت از ۴m/s به ۱۰m/s می‌رسد. نیروی اصطکاک جنبشی در

مقابل حرکت جسم و ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح را حساب کنید. جرم جسم ۴kg است.

حل: چون جسم با شتاب ثابت روی خط راست حرکت می‌کند، از رابطهٔ سرعت ــ زمان استفاده کرده و شتاب حرکت را محاسبه می‌کنیم.

$$v = at + v_{\circ}$$

$$۱۰ = a \times ۵ + ۴$$

$$۵a = ۶$$

$$a = ۱/۲\, m/s^{۲}$$

نیروهای وارد برجسم، در شکل (۳ــ۲۵) نشان داده شده است.

$$N = W = ۴۰N$$

برایند نیروهای وارد بر جسم $= F - f_k$

و آنگاه از قانون دوم نیوتون خواهیم داشت:

$$F - f_k = ma$$

$$۱۰/۸ - f_k = ۴ \times ۱/۲$$

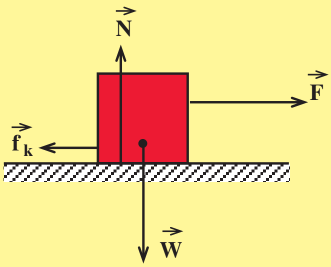
$f_k = ۶\, N$ نیروی اصطکاک جنبشی

$$f_k = \mu_k N$$

$$\mu_k = \frac{f_k}{N}$$

$$\mu_k = \frac{۶}{۴۰}$$

$$\mu_k = ۰/۱۵$$



شکل ۳ــ۲۵

تمرین‌های فصل سوم

۱ــ در هریک از موردهای زیر، شکل ساده‌ای از جسم را رسم کرده و نیروهای وارد بر آن را نشان دهید :

الف ــ جسمی که در هوا در حال سقوط است.

ب ــ جسمی که روی یک سطح شیب‌دار به حال سکون قرار دارد.

پ ــ نردبانی که به دیوار صافی تکیه داده شده است.

۲ــ در هر یک از موردهای زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش، هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟

الف ــ سیاره زهره در حال گردش به دور خورشید،

ب ــ توپی که به دیوار برخورد می‌کند،

پ ــ قایقی ساکن بر آب یک دریاچه،

ت ــ چراغی که از یک سقف آویزان است.

۳ــ دو جسم به جرم‌های m_1 و m_2 که روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارند ، تحت تأثیر نیروهایی یکسان شروع به حرکت می‌کنند. اگر بعد از گذشت زمان t ، سرعت آن‌ها به‌ترتیب برابر v_1 و v_2 شود، نسبت $\frac{v_2}{v_1}$ را محاسبه کنید.

۴ــ آیا ممکن است که یک جسم در نزدیکی زمین با شتابی بزرگتر از g رو به پایین حرکت کند؟

۵ــ دونده‌ای به جرم $60\,kg$ با شتاب $5\,m/s^2$ شروع به دویدن می‌کند و ۲ ثانیه با این شتاب می‌دود.

الف ــ نیرویی که این شتاب را به دونده می‌دهد، محاسبه کنید و توضیح دهید که این نیرو از سوی چه جسمی به دونده وارد می‌شود؟

ب ــ واکنش نیرویی را که در قسمت «الف» محاسبه کرده‌اید، به چه جسمی وارد می‌شود؟

۶ــ کمربند نجات در اتومبیل چگونه در جاده‌ها، سرنشینان اتومبیل را از وارد شدن صدمه‌های احتمالی حفظ می‌کند؟

۷ــ اتومبیلی به جرم ۲ تن از حال سکون روی جاده‌ای افقی شروع به حرکت می‌کند و بعد از پیمودن مسافت $100\,m$ با شتاب ثابت، سرعتش به $20\,m/s$ می‌رسد. برایند نیروهای وارد بر اتومبیل را در این حرکت محاسبه کنید.

۸ــ اتومبیلی به جرم $1200\,kg$ با سرعت $72\,km/h$ روی جاده‌ای افقی و مستقیم در حرکت است. در یک لحظه راننده ترمز می‌گیرد و اتومبیل پس از پیمودن مسافت $125\,m$ می‌ایستد.

الف ــ شتاب حرکت اتومبیل پس از ترمز

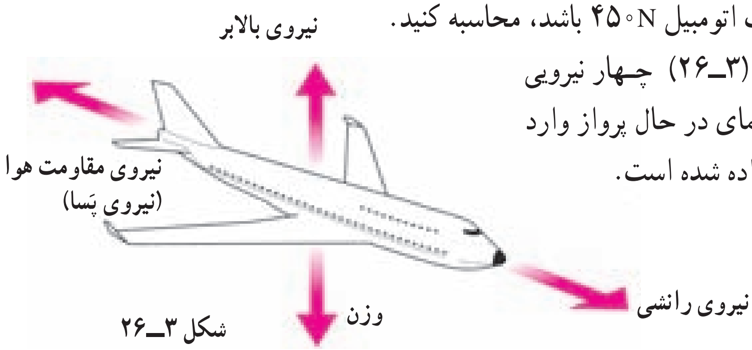
ب ــ نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر اتومبیل را محاسبه کنید.

۹ــ اتومبیلی به جرم ۹۰۰kg در جاده‌ای افقی و مستقیم شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸s به‌سرعت ۱۲m/s می‌رسد.

الف ــ برایند نیروهای وارد بر اتومبیل

ب ــ نیروی رو به جلو که به اتومبیل وارد می‌شود را در صورتی که نیروی اصطکاک جنبشی در مقابل حرکت اتومبیل ۴۵۰N باشد، محاسبه کنید.

۱۰ــ در شکل (۳ــ۲۶) چهار نیرویی که به یک هواپیمای در حال پرواز وارد می‌شود، نشان داده شده است.



شکل ۳ــ۲۶

بزرگی این نیروها را در موقعیت‌های زیر بیان کنید.

الف) هواپیما در یک تراز پروازی است و با سرعت ثابت پرواز می‌کند.

ب) هواپیما در حال شتاب‌دار شدن و ارتفاع گرفتن است.

پ) هواپیما شتاب کاهنده دارد و ارتفاع خود را کاهش می‌دهد.

۱۱ــ می‌خواهیم به جسمی که جرم آن ۵kg است، شتاب $2m/s^2$ بدهیم. نیرویی را که باید به آن وارد کنیم در هر یک از حالت‌های زیر محاسبه کنید:

الف ــ جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

ب ــ جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۲ حرکت می‌کند.

پ ــ جسم در راستای قائم رو به بالا شروع به‌حرکت کند.

ت ــ جسم در راستای قائم رو به پایین شروع به‌حرکت کند.

۱۲ــ جسمی را با سرعت افقی ۱۰m/s روی سطح افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح برابر ۰/۲ است.

الف ــ جسم پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟

ب ــ اگر جسم دیگری که جرم و سرعت آن به‌ترتیب دو برابر جرم و سرعت جسم اول است، روی همان سطح پرتاب شود، شتاب و مسافت پیموده شده آن چند برابر می‌شود؟

۱۳ــ وزنه‌ای به جرم ۲kg را به انتهای فنری به طول ۱۲cm که ثابت آن ۲۰N/cm است

می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.

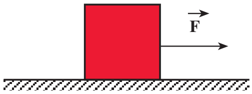
الف ــ آسانسور ساکن است.

ب ــ آسانسور با سرعت ثابت $2m/s$ رو به پایین در حرکت است.

پ ــ آسانسور با شتاب ثابت $2m/s^2$ از حال سکون رو به پایین شروع به‌حرکت کند.

ت ــ آسانسور با شتاب $2m/s^2$ از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

۱۴ــ جسمی به جرم $5kg$ روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارد (شکل ۳ــ۲۷). به جسم نیروی افقی F را وارد می‌کنیم.



شکل ۳ــ۲۷

الف ــ به ازای $F = 15N$ جسم ساکن می‌ماند. نیروی اصطکاک وارد بر آن چه‌قدر است؟

ب ــ به‌ازای $F = 20N$ جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد و با ضربهٔ افقی بسیار کوچکی شروع به حرکت می‌کند و پس از $8s$ مسافت $32m$ را می‌پیماید. ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی را محاسبه کنید.

۱۵ــ الف ــ نیروی گرانشی را که زمین بر ماه وارد می‌کند، محاسبه کنید.

ب ــ نیروی گرانش ماه بر زمین چه‌قدر است؟

(جرم زمین $6\times10^{24}kg$ ، جرم ماه $7/4\times10^{22}kg$ ، فاصلهٔ ماه از زمین 4×10^5km و $G = 6/6\times10^{-11}Nm^2/kg^2$ را بگیرید).

۱۶ــ برای یک راننده دانستن مسافت توقف اتومبیل او اهمیت دارد. علائم بزرگراهی به ما می‌گوید که کل مسافت توقف، دو قسمت دارد (شکل ۳ــ۲۸) :



شکل ۳ــ ۲۸

الف) دو عامل مؤثر در مسافت فکرکردن را نام ببرید.

ب) سه عامل مؤثر در مسافت ترمز را نام ببرید.

پ) زمان واکنش راننده‌ای $0/6s$ است. در طی این زمان، اتومبیل $24m$ طی می‌کند. سرعت اتومبیل را حساب کنید.

ت) با این سرعت راننده ترمز می‌کند و اتومبیل پس از $10s$ متوقف می‌شود. شتاب کاهندهٔ اتومبیل را حساب کنید.

۴



تخت جمشید ــ شمال شیراز

بیش از ۲۵۰۰ سال پیش، ایرانیان با ذوق و سخت‌کوش تمدنی را برپا کردند که بخشی از آثار به جای ماندهٔ آن را در این تصویر می‌بینید. این مکان به **دروازهٔ همهٔ کشورها** معروف بوده است.

فصل ۴

کار و انرژی

هنگامی که فعالیت‌های یک روز خود را در نظر می‌گیرید، مشاهده می‌کنید که کارهای متفاوتی انجام می‌دهید : راه می‌روید، از پله بالا می‌روید، می‌نویسید، کیف خود را حمل می‌کنید. با انجام این کارها انرژی جنبشی یا پتانسیل گرانشی خود و یا اجسام را کاهش و یا افزایش می‌دهید و برای انجام آن‌ها به انرژی نیاز دارید که توسط موادغذایی تأمین می‌شود. افراد دیگر نیز به همین ترتیب فعالیت‌های گوناگون دارند. بسیاری از این کارها، توسط وسیله‌هایی چون اتومبیل، جرثقیل و ... که برای انجام فعالیت‌های خاصی طراحی شده‌اند نیز انجام می‌شوند. این وسیله‌ها از انرژی الکتریکی، شیمیایی و یا ... استفاده می‌کنند. بنابراین، ملاحظه می‌کنید که همواره در اطراف شما انجام کارهای متفاوت و تبدیل‌های مختلف انرژی در جریان‌اند. در فیزیک (۱) و آزمایشگاه تا حدی با مفهوم انرژی و نوع‌های مختلف آن و تبدیل انرژی‌ها به یکدیگر آشنا شدید. در این فصل با مفهوم کار، انرژی مکانیکی و توان آشنا می‌شوید و تعریف دقیق‌تری از نوع‌های مختلف انرژی پتانسیل ارائه می‌شود.

۴ــ۱ــ کار

همه‌روزه با افرادی که در حال کارکردن هستند مواجه می‌شوید. نجّار را می‌بینیم که درحال اره و یا رنده‌کردن است. در فعالیت‌های ساختمانی کارگران مصالح ساختمانی را از محلی به محل دیگر حمل می‌کنند و ... البته بعضی از کارها توسط ماشین‌های مخصوص انجام می‌شوند.

در شکل (۴ــ۱) تعدادی از این فعالیت‌ها نشان داده شده‌اند.

فعالیت ۴ــ۱

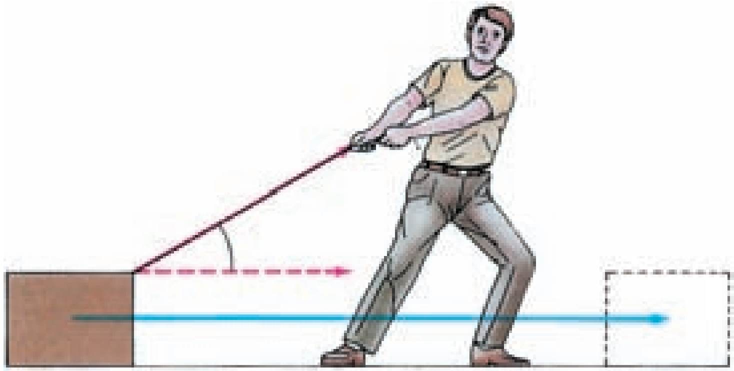
تعداد دیگری از کارهایی را که در اطراف خود مشاهده می‌کنید یادداشت و به کلاس گزارش کنید. در انجام این کارها چه عامل‌هایی مشترک‌اند؟ این سؤال را در گروه به بحث بگذارید.



ب



الف



پ

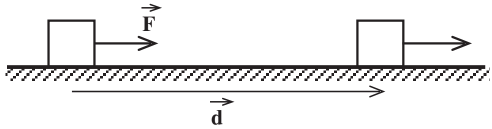
شکل ۴ــ۱

در کارهایی که انجام می‌شوند ؛

الف ــ به اجسام نیرو وارد می‌شود. ب ــ آن‌ها جابه‌جا می‌شوند.

به‌عنوان مثال، در شکل (۴ــ۱ــالف) شخص به جسم نیرویی به سمت‌بالا وارد می‌کند و آن را بالا می‌برد. در شکل (۴ــ۱ــ ب) شخص به کالسکه نیرو وارد می‌کند و آن را به جلو می‌راند. باتوجه به آنچه گفته شد کار به‌صورت حاصل‌ضرب نیرو در جابه‌جایی تعریف می‌شود. یعنی، اگر مطابق شکل (۴ــ۲) به جسم نیرویی به اندازهٔ F وارد و آن را به اندازهٔ d جابه‌جا کنیم، طبق تعریف، کار نیروی ثابت F، با رابطه زیر داده می‌شود :

$$W_F = Fd \qquad (۴ــ۱)$$



شکل ۴ــ۲

یکای کار N.m است که ژول نامیده می‌شود. این یکا را با نماد J نمایش می‌دهیم.
کار یک کمیت نرده‌ای است و مثلاً اگر در شکل(۴ــ۲) کار را با چند جابه‌جایی متوالی انجام دهیم، کار کل را می‌توان از جمع جبری کار انجام‌شده در تک‌تک جابه‌جایی‌ها به‌دست آورد.

مثال ۴ــ۱

در شکل (۴ــ۱ــ ب) اگر شخص نیرویی افقی برابر 4N را به کالسکه وارد و آن را به اندازه 10m جابه‌جا کند، چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

حل: بر طبق رابطه (۴ــ۱) داریم :

$$W = Fd$$

$$W = 4 \times 10 = 40J$$

مثال ۴ــ۲

مطابق شکل (۴ــ۱ــ الف) اگر شخصی نیرویی برابر ۳۰ نیوتون را به جسم وارد کند و آن را به اندازه ۰/۵ متر بالا ببرد چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

حل:

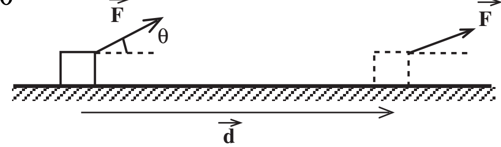
$$W = Fd$$

$$W = 30 \times 0/5 = 15J$$

در مثال ۴ــ۲ نیروی وزن نیز به جسم وارد می‌شود. این نیرو در خلاف جهت جابه‌جایی است. هم‌چنین، در شکل (۴ــ۱ــ پ) نیروی وارد به جسم، با افق زاویه می‌سازد. در این‌گونه موارد کار را چگونه می‌توان تعریف کرد؟ برای این منظور به‌صورت زیر عمل می‌کنیم.

فرض کنید که نیروی وارد به جسم مطابق شکل (۴ــ۳) با بردار جابه‌جایی زاویهٔ θ می‌سازد، در این حالت کار نیروی ثابت F به‌صورت زیر تعریف می‌شود :

$$W_F = Fd\cos\theta \qquad (۴\text{ــ}۲)$$



شکل ۴ــ۳

اگر دراین رابطه $\theta=0$ باشد، رابطه (۴ــ۱) به‌دست می‌آید.

مثال ۴ــ۳

در شکل (۴ــ۳) نیروی ۵ نیوتونی را تحت زاویهٔ 60° به جسم وارد می‌کنیم. کار نیروی F را در ۶ متر جابه‌جایی حساب کنید.

حل: بر طبق رابطه (۴ــ۲) داریم :

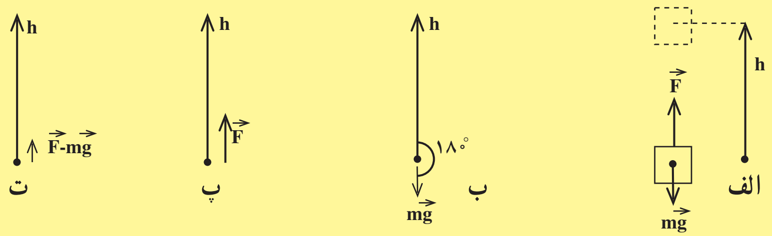
$$W_F = Fd\cos\theta$$

$$W_F = Fd\cos\theta = 5\times6\times\cos60^\circ = 15J$$

در مواردی که بیش از یک نیرو به جسم وارد می‌شود، می‌توان کار هریک از نیروها را از رابطه (۴ــ۲) به‌دست آورد. به چند مثال در این مورد توجه کنید.

مثال ۴ــ۴

جسمی به جرم m را مطابق شکل (۴ــ۴ــ الف) به اندازه h بالا می‌بریم. کار نیروی وزن چه‌قدر است؟



شکل ۴ــ۴

حل: دراین حالت زاویه بین وزن و بردار جابه‌جایی 180° است (شکل ۴ــ۴ــب).

در نتیجه، بر طبق رابطه (۴ــ۲) داریم :

$$W_{mg} = mgh\cos180^\circ$$

$$W_{mg} = -mgh$$

مثال ۴ــ۵

درمثال (۴ــ۴)،

الف ــ کار نیروی F

ب ــ کار نیروی برایند را محاسبه کنید.

حل: الف ــ زاویه نیروی F و جابه‌جایی صفر است (شکل ۴ــ۴ــ پ) درنتیجه کار نیروی F برابر Fh است.

ب ــ بزرگی برایند نیروهای وارد بر جسم برابر $F - mg$ است. زاویه بردار برایند نیروها و بردار جابه‌جایی صفر است (شکل ۴ــ۴ــت). درنتیجه، با استفاده از رابطه (۴ــ۲) داریم:

$$W_{\text{برایند}} = (F - mg)h\cos 0^\circ$$

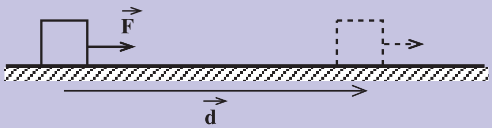
$$W_{\text{برایند}} = (F - mg)h$$

در قسمت الف مثال (۴ــ۵) دیدیم که کار نیروی F برابر Fh است و همان‌طور که در مثال (۴ــ۴) دیدیم کار نیروی وزن برابر با $-mgh$ است. درنتیجه، کار برایند نیروها را می‌توان با جمع کردن کار هر یک از نیروها نیز به‌دست آورد. این نتیجه برای یک مثال خاص اثبات شد ولی می‌توان نشان داد که در حالت کلی هم برقرار است.

تمرین ۴ــ۱

در شکل (۴ــ۵) نیروی ثابت F در امتداد افق به جسمی به جرم m وارد می‌شود و آن را در روی سطحی با ضریب اصطکاک جنبشی μ_k جابه‌جا می‌کند. مطلوبست

الف ــ کار نیروی F ب ــ کار نیروی اصطکاک جنبشی پ ــ کار نیروی عمودی تکیه‌گاه ت ــ کار نیروی وزن ث ــ کار برایند نیروها ج ــ نشان دهیدکه کار برایند نیروها برابر است با جمع جبری کار حاصل از تک تک نیروها.



شکل ۴ــ۵

مثال ۴ــ۶

فرض کنید که شخص در شکل (۴ــ۱ــالف) جسم را به بالا ببرد و همان‌جا نگاه دارد. او برای نگهداری جسم چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

حل: در این حالت شخص برای نگاهداشتن جسم نیرویی برابر با وزن آن به جسم وارد می‌کند. ولی چون جابه‌جایی صفر است، کار او برابر است با :

$$W = Fd = mg \times ۰ = ۰$$

یعنی، شخص برای نگهداری جسم کاری انجام نمی‌دهد.

مثال ۴ــ۷

شخصی با سرعت ثابت در حال حرکت است و سطل آبی به جرم m رامطابق شکل (۴ــ۶) حمل و به اندازه d جابه‌جا می‌کند. او برای حمل سطل چقدر کار انجام می‌دهد.

حل: شخص برای این‌که سطل را نگه دارد، باید نیرویی برابر با وزن سطل رو به بالا به آن وارد کند. چون سطل با سرعت ثابت حرکت می‌کند، شخص نیرویی در جهت افقی به آن وارد نمی‌کند. زاویه بین نیرو و جابه‌جایی ۹۰° است، درنتیجه :

$$W = Fd\cos\theta = mgd\cos ۹۰^\circ = ۰$$



شکل ۴ــ۶

یعنی شخص برای حمل سطل، با سرعت ثابت، کاری انجام نمی‌دهد.

مثال‌های (۴ــ۶ و ۴ــ۷) نشان می‌دهند کاری را که در فیزیک تعریف می‌شود با مفهوم کاری که در گفت و گوهای عادی خود به‌کار می‌بریم تفاوت دارد. زیرا، در صحبت‌های روزمره فعالیت‌های ذکرشده در مثال‌های بالا را نیز کار می‌نامیم. ولی با تعریفی که برای کار ارائه کردیم، در مثال‌های یاد شده کاری انجام نمی‌شود.

۴ــ۲ــ قضیه کار و انرژی

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی جنبشی جسمی به جرم m و سرعت v با رابطه

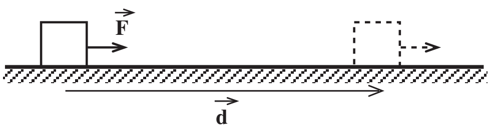
$$K = \frac{۱}{۲} mv^۲ \qquad (۴ــ۳)$$

داده می‌شود. هنگامی که توپی را در امتداد قائم به هوا پرتاب می‌کنیم، سرعت توپ رفته‌رفته کاهش می‌یابد. درنتیجه، انرژی‌جنبشی توپ در حین بالا رفتن کاهش می‌یابد. اگر توپ را ازحال سکون از یک بلندی رها کنیم، انرژی‌جنبشی توپ در حین پایین‌آمدن افزایش می‌یابد. ما روزانه شاهد تغییر انرژی‌جنبشی اجسام در محیط اطراف خود هستیم. انرژی‌جنبشی اتومبیلی که ترمز کرده است، کاهش می‌یابد. هنگامی که میخی را به دیوار می‌کوبیم، درحین برخورد چکش به میخ انرژی‌جنبشی میخ ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

فعالیت ۴ــ۲

مثال‌های دیگری که در مورد تغییر انرژی‌جنبشی اجسامِ اطراف خود می‌بینید را یادداشت و به کلاس گزارش کنید.

قضیه کار و انرژی، رابطه بین کار و تغییر انرژی‌جنبشی را بیان می‌کند. برای توضیح‌دادن این قضیه مثال زیر را درنظر می‌گیریم. جسمی به جرم m را مطابق شکل (۴ــ۷) درنظر بگیرید که برایند نیروهای وارد بر آن ثابت و برابر $\vec{F}$ است و جسم تحت‌تأثیر این نیرو به اندازهٔ d بر روی یک سطح افقی جابه‌جا می‌شود.



شکل ۴ــ۷

کار نیروی F با رابطهٔ زیر داده می‌شود:

$$W = Fd \qquad (۴ــ۴)$$

از طرف دیگر چون F برایند نیروهای وارد بر جسم است، داریم

$$F = ma \qquad (۴ــ۵)$$

دراثر اعمال نیروی F سرعت جسم از مقدار $v_۱$ در نقطهٔ (۱) به مقدار $v_۲$ در نقطهٔ (۲) تغییر می‌کند.

با استفاده از رابطه (۲ــ۱۱) داریم:

$$v_۲^۲ - v_۱^۲ = ۲ad \qquad (۴ــ۶)$$

اگر از این رابطه a را به‌دست آوریم و در رابطهٔ (۴ــ۵) قرار دهیم، خواهیم داشت :

$$F = m\frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} \qquad (۴ــ۷)$$

با قرار دادن این رابطه در رابطهٔ (۴ــ۴) رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \qquad (۴ــ۸)$$

جمله اول طرف راست در این رابطه انرژی جنبشی جسم در نقطه (۲) و جمله دوم انرژی جنبشی جسم در نقطه (۱)است.

درنتیجه اگر این دو انرژی جنبشی را به‌ترتیب با K_2 و K_1 نشان دهیم، رابطهٔ (۴ــ۸) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت :

$$W = K_2 - K_1 \qquad (۴ــ۹)$$

رابطهٔ (۴ــ۹) قضیه کار و انرژی نامیده می‌شود. برطبق این قضیه، **کار برایند نیروی وارد بر یک جسم در یک جابه‌جایی برابر است با تغییر انرژی‌جنبشی جسم در آن جابه‌جایی.**

باتوجه به این رابطه می‌توان دریافت که انرژی‌جنبشی اجسام چگونه تغییر می‌کند. اگر کار برایند نیروها مثبت باشد، $K_2 > K_1$ است و انرژی‌جنبشی جسم افزایش می‌یابد. اگرکار برایند نیروها منفی باشد، $K_2 < K_1$ است و انرژی‌جنبشی جسم کاهش می‌یابد. اگر کار برایند نیروها صفر باشد، $K_2 = K_1$ است و انرژی‌جنبشی جسم تغییر نمی‌کند.

فعالیت ۴ــ۳

باتوجه به نکات فوق علّت افزایش و یا کاهش انرژی‌جنبشی اجسام را در مثال‌هایی که در ابتدای این بخش ذکر شدند توضیح دهید.

قضیه کار و انرژی رادر رویدادهایی که در اطراف خود می‌بینید به‌کار ببرید.

مثال ۴ــ۸

جسمی به جرم ۱ کیلوگرم را از ارتفاع ۱۰متری رها می‌کنیم. با استفاده از قضیه کار و انرژی تعیین کنید هنگامی که جسم به زمین می‌رسد، انرژی‌جنبشی آن چه‌قدراست (شتاب گرانش را $10 m/s^2$ فرض کنید).

حل: دراین مثال تنها نیروی وارد بر جسم نیروی وزن است. کار این نیرو برابر است با :

$$W = mgh\cos(0^\circ) = 1\times10\times10\times1 = 100J$$

انرژی جنبشی اولیه آن صفر است. بر طبق قضیه کار و انرژی داریم :

$$W = K_2 - K_1$$

با قرار دادن مقادیر W و K_1 دراین رابطه خواهیم داشت :

$$100 = K_2 - 0$$

$$K_2 = 100J$$

مثال ۴ــ۹

اتومبیلی به جرم 1500kg با سرعت 72km/h در حرکت است. اگر راننده ترمز کند، اتومبیل پس از طی مسافتی می‌ایستد. کار نیروی اصطکاک را به‌دست‌آورید.

حل: سرعت اتومبیل قبل از ترمز کردن برابر است با :

$$v_1 = \frac{72\times1000}{3600} = 20m/s$$

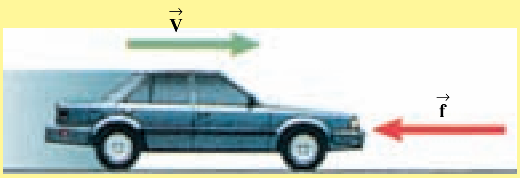
درنتیجه، انرژی جنبشی آن قبل از ترمزکردن برابر است با :

$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(1500)(20)^2 = 300,000J$$

همچنین $K_2 = 0$ است.

از طرف دیگر، نیروی اصطکاک ، نیروی عمودی تکیه‌گاه و نیروی وزن نیروهایی هستند که بر جسم اثرمی‌کنند. درنتیجه :

$$W_{\text{برایند}} = W_f + W_N + W_{mg}$$



شکل ۴ــ۸

ولی کار نیروی عمودی تکیه‌گاه و نیروی وزن برابر صفر است. درنتیجه :

$$W_f = K_2 - K_1 = 0 - 300000 = -300000J$$

از قضیهٔ کار و انرژی می‌توان برای محاسبه کمیت‌های مختلف استفاده کرد. این امر در مثال‌های زیر نشان داده شده است.

مثال ۴ـ۱۰

اتومبیلی به جرم یک تن با سرعت $36\,km/h$ در حرکت است. راننده ترمز می‌کند. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین جاده و لاستیک‌های اتومبیل ۰/۵ باشد، اتومبیل پس از طی چه مسافتی متوقف می‌شود ($g = 10\,m/s^2$ فرض می‌شود)؟

حل: در این مسئله نیروی اصطکاک جنبشی و نیروی عمودی تکیه‌گاه و نیروی وزن بر جسم وارد می‌شوند. کار نیروی اصطکاک برابر است با :

$$W_f = fd\cos\theta = \mu_k mgd\cos 180^\circ$$
$$= -0/5 \times 1000 \times 10 \times d = -5000d$$

و کار نیروی عمودی تکیه‌گاه و وزن صفر است. سرعت اولیه جسم برابر است با :

$$v_1 = \frac{36 \times 1000}{3600} = 10\,m/s$$

درنتیجه، انرژی جنبشی اولیه جسم برابر است با :

$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(1000)(10)^2 = 50000\,J$$

و $K_2 = 0$ است. با استفاده از قضیه کار و انرژی داریم :

$$W = K_2 - K_1$$

$$-5000d = 0 - 50000$$

که از آن مقدار $d = 10\,m$ به‌دست می‌آید.

فعالیت ۴ـ۴

آزمایشی طراحی کنید که با استفاده از آن بتوان ضریب اصطکاک جنبشی لاستیک ماشین و جاده را تخمین زد.

مثال ۴ـ۱۱

جسمی را از ارتفاع h رها می‌کنیم.

با استفاده از قضیه کار و انرژی سرعت آن را در ارتفاع $\frac{3}{4}h$ به‌دست‌آورید.

(از مقاومت هوا صرف‌نظر کنید).

حل:

جسم به اندازهٔ $\frac{1}{4}h$ سقوط می‌کند. تنها نیروی وارد بر جسم وزن آن است. کار وزن در این جابه‌جایی برابر $\frac{1}{4}mgh$ است. انرژی جنبشی اولیه $K_1 = 0$ و انرژی جنبشی نهایی برابر $K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2$ است. درنتیجه :

$$W = K_2 - K_1$$

$$\frac{1}{4}mgh = \frac{1}{2}mv_2^2 - 0$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{1}{2}gh}$$

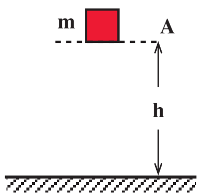
تمرین ۴ــ۲

مثال (۴ــ۱۱) را برای ارتفاع‌های $\frac{1}{2}h$ و $\frac{1}{4}h$ و صفر نیز حل کنید و جدول زیر را تکمیل کنید (قسمت‌های مربوط به انرژی پتانسیل و مجموع آن با انرژی جنبشی را پس از حل تمرین (۴ــ۳) پر کنید).

ارتفاع	انرژی جنبشی	سرعت	انرژی پتانسیل	مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل
h				
$\frac{3}{4}h$				
$\frac{1}{2}h$				
$\frac{1}{4}h$				
0				

۴ــ۳ــ انرژی پتانسیل

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که انرژی پتانسیل گرانشی انرژی‌ای است که جسم به علت ارتفاعش از سطح زمین دارد. یعنی، اگر جسم مطابق شکل (۴ــ۹) در ارتفاع



شکل ۴ــ۹

h از سطح زمین باشد، دارای انرژی پتانسیل گرانشی است.

چگونه می‌توان فهمید که این جسم دارای انرژی پتانسیل گرانشی است؟

در این بخش می‌خواهیم این انرژی را به‌صورت کمّی تعریف کنیم. برای بالابردن جسم از سطح زمین تا ارتفاع h باید کار انجام دهیم. چون جسم انرژی پتانسیل گرانشی را از این طریق کسب کرده است، می‌توان گفت کار انجام شده به‌صورت انرژی پتانسیل درجسم ذخیره شده است.

باتوجه به نکات فوق انرژی پتانسیل گرانشی به‌صورت زیر تعریف می‌شود :

«انرژی پتانسیل گرانشی یک جسم در یک نقطه نسبت به زمین برابر است با کاری که انجام می‌دهیم تا جسم را با سرعت ثابت از سطح زمین تا نقطه یادشده منتقل کنیم».

برای این‌که جسم در شکل (۴ــ۹) را با سرعت ثابت تا ارتفاع h بالا ببریم، باید نیرویی برابر با وزن جسم رو به بالا به آن وارد کنیم. درنتیجه، کار انجام شده برابر است با :

$$W = mgh\cos(0) = mgh$$

با استفاده از تعریف فوق انرژی پتانسیل گرانشی جسم در ارتفاع h با رابطه زیر داده می‌شود :

$$U = mgh \qquad (۴ــ۱۰)$$

تمرین ۴ــ۳

انرژی پتانسیل جسم در شکل (۴ــ۹) را در ارتفاع $\frac{3}{4}h$ ، $\frac{1}{2}h$ و $\frac{1}{4}h$ و صفر به‌دست آورید و جدول تمرین (۴ــ۲) را تکمیل و نمودار تغییرات انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی و مجموع آن‌ها را برحسب ارتفاع رسم کنید.

لازم به تذکر است که اگر شرط با سرعت ثابت در تعریف انرژی پتانسیل ذکر نمی‌شد، سرعت جسم مثلاً افزایش می‌یافت و مقداری از کار صرف افزایش انرژی جنبشی جسم می‌گردید.

انرژی پتانسیل کشسانی را نیز می‌توان به روش فوق تعریف کرد. درکتاب فیزیک (۱) وآزمایشگاه دیدیم هنگامی که فنر، مطابق شکل (۴ــ۱۰ــ الف و ب)،کشیده و یا فشرده شده است دارای انرژی پتانسیل است.

چگونه می‌توان پی‌برد که در این حالت‌ها انرژی پتانسیل کشسانی در فنر ذخیره شده است؟



شکل ۴ــ۱۰

در این حالت نیز می‌توان گفت کاری که با سرعت ثابت برای کشیدن فنر تا نقطه A و یا فشردن آن تا نقطه B انجام می‌دهیم، به‌صورت انرژی پتانسیل کشسانی در فنر ذخیره می‌شود. به‌عبارت دیگر :

انرژی پتانسیل فنر در یک وضعیت کشیدهٔ (فشردهٔ) خاص، نسبت به حالت آزاد فنر، برابر است با کاری که انجام می‌دهیم تا آن را از حالت آزاد با سرعت ثابت به‌وضعیت یادشده برسانیم.

لازم به تذکر است که نیروی کشسانی فنر متغیر است و مقدار آن، همان‌طور که رابطه (۳ــ۱) نشان می‌دهد، به‌مقدار کشیدگی و یا فشردگی فنر بستگی دارد. چون در این فصل فقط چگونگی محاسبه کار نیروی ثابت را بیان کرده‌ایم، از این رو محاسبه کار نیروی فنر از سطح این کتاب خارج است و درنتیجه ارایه یک رابطهٔ کمّی مانند رابطه (۴ــ۱۰) برای انرژی پتانسیل کشسانی فنر مقدور نیست. در سال‌های بعد با این رابطه آشنا خواهید شد.

مثال ۴ــ۱۲

نشان دهید که هرچه فنر کشیده‌تر و یا فشرده‌تر باشد، انرژی پتانسیل آن نسبت به وضعیت آزاد فنر بیشتر است.

حل: برای کشیدن فنر باید کار انجام دهیم و این کار در فنر به‌صورت انرژی پتانسیل ذخیره می‌شود. برای این‌که فنر را بیشتر بکشیم باید کار بیشتری انجام دهیم. درنتیجه، انرژی پتانسیل آن بیشتر می‌شود.

درمورد فشردگی فنر نیز می‌توان به همین روش استدلال کرد.

فعالیت ۴ــ۵

وسیله‌هایی رانام ببرید که با استفاده از انرژی پتانسیل کشسانی فنر کار می‌کنند.

اکنون به تعریف انرژی پتانسیل الکتریکی می‌پردازیم. در شکل (۴ــ۱۱ــ الف) دو بار همنام و در شکل (۴ــ۱۱ــ ب) دو بار غیرهمنام نشان داده شده‌اند. این دوبار باید به طریقی ساکن نگه‌داشته شوند. زیرا، اگر هریک از آن‌ها آزاد باشد، شروع به حرکت خواهد کرد. درنتیجه، می‌توان گفت که مجموعه دو بار دارای انرژی پتانسیل است. دراین‌حالت نیز می‌توان گفت کاری که با سرعت ثابت



شکل ۴ــ۱۱

برای نزدیک کردن دو بار در شکل (۴ــ۱۱ــ الف) و دورکردن آن‌ها در شکل (۴ــ۱۱ــ ب) انجام می‌دهیم، به‌صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در دو بار ذخیره می‌شود. در این‌حالت نیز می‌توان کار انجام شده را محاسبه و یک رابطهٔ کمّی برای انرژی‌پتانسیل الکتریکی ارایه کرد که انجام آن از سطح این کتاب خارج است.

تمرین ۴ــ۴

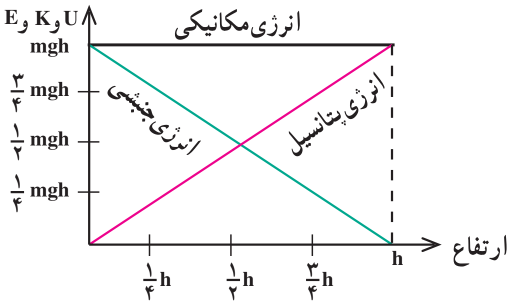
نشان دهید هر اندازه دو بار همنام به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، انرژی‌پتانسیل آن‌ها بیشتر و هر اندازه دو بار غیرهمنام، از یکدیگر دورتر باشند، انرژی‌پتانسیل آن‌ها بیشتر است.

فعالیت ۴ــ۶

آزمایشی طراحی کنید که در آن بتوان ذخیره‌شدن انرژی‌پتانسیل الکتریکی را آزمود. این آزمایش را انجام دهید و نتیجه آن را به کلاس گزارش دهید.

۴ــ۴ــ پایستگی انرژی‌مکانیکی

هنگامی که جسمی به جرم m را از ارتفاع h رها می‌کنیم، انرژی‌جنبشی و پتانسیل جسم درحین سقوط تغییر می‌کند. مقادیر انرژی‌جنبشی و انرژی‌پتانسیل این جسم در تمرین‌های (۴ــ۲) و (۴ــ۳) به‌دست آمده‌اند و نمودار تغییرات آن‌ها در شکل (۴ــ۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۴ــ۱۲

همان‌طور که مقادیر به‌دست آمده، در جدول مربوط به این تمرین‌ها و نیز نمودار شکل (۴ــ۱۲) نشان می‌دهند، درحینِ سقوط انرژی‌پتانسیل جسم کاهش و انرژی‌جنبشی آن افزایش می‌یابد. ولی مجموع این دوانرژی درحین حرکت پایسته (ثابت) می‌ماند.

مجموع انرژی‌های‌جنبشی و پتانسیل انرژی‌مکانیکی نامیده می‌شود. این انرژی را با E نمایش می‌دهیم.

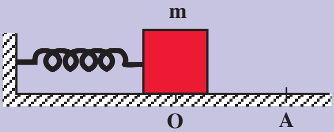
$$E = K + U \qquad (۴ــ۱۱)$$

این مثال نشان می‌دهد که **انرژی‌مکانیکی در سقوط آزاد یک جسم پایسته است.**

هرچند **پایستگی انرژی‌مکانیکی** در مورد این مثال خاص نشان داده شد، ولی می‌توان نشان‌داد در مواردی که با نیروهایی مانند کشسانی فنر، نیروی الکتریکی و ... سروکار داریم نیز انرژی‌مکانیکی پایسته می‌ماند.

تمرین ۴ـ۵

در شکل (۴ـ۱۳) جسمی به جرم m به فنر متصل است و روی یک سطح بدون اصطکاک قراردارد. جسم را تا نقطه A می‌کشیم و سپس رها می‌کنیم. بااستفاده از پایستگی انرژی‌مکانیکی چگونگی حرکت جرم m را توصیف کنید.



شکل ۴ـ۱۳

مثال ۴ـ۱۳

در شکل (۴ـ۱۴) بار $+q_1$ با سرعت $\vec{v}_0$ به طرف بار $+q_2$ که ساکن نگه‌داشته شده است پرتاب می‌شود. فرض کنید به جز نیروی الکتریکی، نیروی دیگری به بار q_1 وارد نمی‌شود. چگونگی حرکت بار q_1 را با استفاده از پایستگی انرژی‌مکانیکی توضیح دهید.



شکل ۴ـ۱۴

حل: با نزدیک شدن بار q_1 به بار q_2 انرژی پتانسیل آن‌ها افزایش می‌یابد و چون انرژی‌مکانیکی پایسته است، انرژی‌جنبشی q_1 کاهش می‌یابد. هرچه q_1 به q_2 نزدیک‌تر می‌شود، کاهش انرژی جنبشی بیشتر می‌شود تا این‌که درنهایت در نقطه‌ای مانند A سرعت q_1 صفر می‌شود و جسم برمی‌گردد. با دورشدن q_1 از q_2 انرژی پتانسیل آن کاهش و انرژی‌جنبشی آن افزایش می‌یابد و هرچه q_1 از q_2 دورتر می‌شود، سرعت آن بیشتر می‌شود.

در مواردی که به جسم در حال حرکت نیروی اصطکاک جنبشی (یا نیروی اتلاف کننده دیگری چون مقاومت هوا) وارد می‌شود، جسم انرژی‌مکانیکی خود را ازدست می‌دهد. انرژی ازدست‌رفته به‌صورت انرژی‌درونی جسم و سطح تماس و یا محیط درمی‌آید. در این‌گونه موارد انرژی‌مکانیکی پایسته نیست.

با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی می‌توان کمیت‌های مختلف را محاسبه کرد. این‌امر در مثال‌های زیر نشان داده شده است.

مثال ۴ـ۱۴

جسمی به جرم $0/5\ kg$ را از ارتفاع $2m$ با سرعت $10m/s$ به بالا پرتاب می‌کنیم. این جسم حداکثر تا چه ارتفاعی بالا می‌رود ($g=10m/s^2$ فرض و از مقاومت هوا صرف‌نظر شود).

حل: انرژی‌جنبشی جسم در نقطه پرتاب برابر است با :

$$K_1=\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}(0/5)(10)^2=25J$$

و انرژی‌پتانسیل گرانشی آن در همین نقطه برابر است با :

$$U_1=mgh_1=0/5\times10\times2=10J$$

انرژی جنبشی آن در بالاترین نقطه $K_2=0$ است و انرژی‌پتانسیل گرانشی آن در این نقطه برابر است با :

$$U_2=mgh_2=0/5\times10\times h_2=5h_2$$

برطبق پایستگی انرژی‌مکانیکی

$$U_1+K_1=U_2+K_2$$

با جای‌گذاری مقادیر آن‌ها داریم :

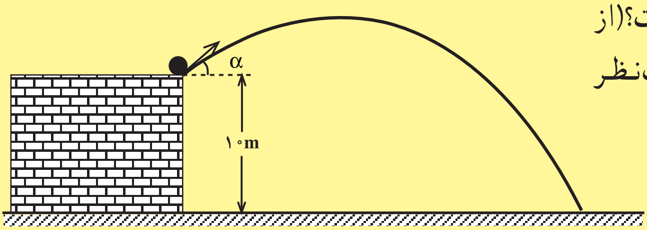
$$10+25=5h_2+0$$

که با حل آن، مقدار زیر برای ارتفاع نهایی جسم به‌دست می‌آید :

$$h_2=7m$$

مثال ۴ـ۱۵

از بالای یک بلندی به ارتفاع ۱۰متر جسمی به جرم ۰/۴ کیلوگرم را مطابق شکل (۴ـ۱۵) با سرعت $20m/s$ پرتاب می‌کنیم. سرعت جسم در هنگام برخورد بازمین چه‌قدراست؟(از مقاومت هوا صرف‌نظر شود).



شکل ۴ـ۱۵

حل: انرژی‌های جنبشی و پتانسیل گرانشی جسم در نقطه پرتاب برابرند با :

$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(0/4)(20)^2 = 80J$$

$$U_1 = mgh_1 = 0/4 \times 10 \times 10 = 40J$$

و نیزانرژی جنبشی و پتانسیل گرانشی جسم در لحظه برخورد با زمین به ترتیب برابرند با :

$$K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 0/4 \times v_2^2 = 0/2v_2^2$$

$$U_2 = mgh_2 = 0/4 \times 10 \times 0 = 0$$

بر طبق پایستگی انرژی مکانیکی داریم :

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

با جای‌گذاری مقدارها داریم :

$$80 + 40 = 0/2v_2^2 + 0$$

$$v_2 \simeq 24/5 m/s$$

۴ــ۵ــ توان

در بخش (۴ــ۱) درمورد محاسبه کارانجام‌شده بحث شد. ولی، درمورد زمانی که این‌کار انجام می‌شود، صحبتی نشد. کار می‌تواند کُند و یا تند انجام شود. یک جسم را می‌توانیم مثلاً در ۲ و یا ۵ ثانیه به یک ارتفاع معین برسانیم. در هر دو مورد کار انجام شده یکسان است. ولی درمورد اول کار سریع‌تر انجام شده است. برای درنظرگرفتن زمان انجام کار کمیّت مناسبی را به نام توان تعریف می‌کنیم.

فرض کنید کار W درزمان t انجام شده است. توان متوسط $\overline{P}$ به‌صورت کار انجام‌شده در واحد زمان تعریف می‌شود و از تقسیم کردن کار به زمان انجام آن به‌دست می‌آید :

$$\overline{P} = \frac{W}{t} \qquad (۱۲ــ۴)$$

یکای توان در SI ژول بر ثانیه (J/s) است که به احترام کارهای علمی جیمز وات، وات (W) نامیده می‌شود.

برطبق این تعریف، هراندازه کار معینی در زمان کمتری انجام شود و یا در زمان معینی کار بیشتری انجام گیرد، توان مقدار بیشتری دارد.

مثال ۴ـ۱۶

چمدانی به جرم ۲۰ کیلوگرم را با سرعت ثابت به اندازهٔ ۰/۵ متر در ۲ ثانیه بالا می‌بریم. این کار با چه توان متوسطی انجام شده است؟ (g را برابر با $10\ m/s^2$ فرض کنید).

حل: ابتدا کار انجام‌شده را محاسبه می‌کنیم. چون سرعت ثابت است برای این‌کار باید نیرویی برابر با mg به چمدان وارد کنیم.

$$W = mgh = 20 \times 10 \times 0/5 = 100\,J$$

$$\bar{P} = \frac{W}{t} = \frac{100}{2} = 50\,W$$

فعالیت ۴ـ۷

از پله‌های یک ساختمان یک‌بار به صورت عادی و باردیگر به سرعت بالا روید. و در هر حالت توان خود را به‌دست آورید.

هر وسیله‌ای مانند اتومبیل، جاروبرقی، آسانسور و ... که کاری را انجام دهد، انرژی مصرف می‌کند. برای استفاده از این وسیله‌ها باید به آن‌ها انرژی داد. این انرژی را انرژی ورودی یا مصرفی می‌نامند.

فعالیت ۴ـ۸

فهرستی از وسیله‌های اطراف خودرا که هر کدام کار خاصی انجام می‌دهند تهیه و مشخص کنید انرژی ورودی هریک چگونه تأمین می‌شود.

ازآنجا که مقداری از این انرژی به علت اصطکاک تلف و یا صرف حرکت‌دادن اجزای وسیله می‌شود، کار یا انرژی مفید خروجی وسیله با انرژی ورودی آن برابر نیست. درنتیجه، فقط کسری از انرژی ورودی قابل استفاده است.

این کسر معمولاً به‌صورت درصد بیان می‌شود و بازده نامیده می‌شود :

$$\text{بازده} = \frac{\text{کار خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} \times 100$$

این کمیت تعیین می‌کند که چه درصدی از انرژی ورودی به کار یا انرژی خروجی تبدیل می‌شود.

مثال ۴ ـ ۱۷

دریک ساختمان، مصالح ساختمانی را با استفاده از یک موتور الکتریکی با توان متوسط یک‌کیلووات بالا می‌برند. اگر بازده موتور ۸۰ درصد باشد، بار ۱۰۰ کیلوگرمی را در چند ثانیه می‌توان به ارتفاع ۱۰متری برد؟ ($g=10 m/s^2$ فرض شود).

حل: با استفاده از رابطه بازده توان خروجی موتور برابر است با :

$$\bar{P}=1000\times 0/8=800W$$

$$W=mgh=100\times 10\times 10=10000J$$

$$\bar{P}=\frac{W}{t}$$

$$800=\frac{10000}{t}$$

$$t=12/5s$$

تمرین‌های فصل چهارم

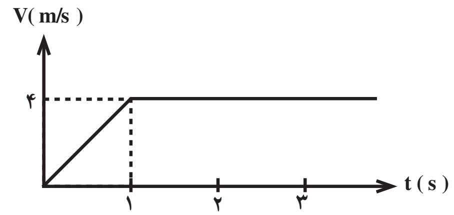
۱ــ شخصی به جرم ۵۰ کیلوگرم در داخل آسانسوری قرار دارد. آسانسور ۵ متر بالا می‌رود. در هریک از موارد زیر کار هریک از نیروهای وارد بر شخص و کار نیروی برایند وارد بر او را حساب کنید.

الف ــ آسانسور با سرعت ثابت بالا می‌رود.

ب ــ آسانسور با شتاب $2\ m/s^2$ بالا می‌رود.

۲ــ در تمرین ۱ کار برایند نیروها را با استفاده از قضیه کار و انرژی به‌دست آورید.

۳ــ نمودار سرعت ــ زمان متحرکی به جرم 5kg در شکل ۴ــ۱۶ داده شده است. کار نیروی برایند را الف) به‌طور مستقیم ب) با استفاده از قضیه کار و انرژی برای این متحرک حساب کنید.



شکل ۴ــ۱۶

۴ــ گلوله‌ای به جرم ۲۴ گرم با سرعت ۵۰۰m/s وارد تنهٔ درختی می‌شود. اگر گلوله به اندازه ۱۲cm در تنه درخت فرو رود، نیروی متوسطی که تنه به آن وارد می‌کند چند نیوتون است؟

۵ــ اتومبیلی به جرم یک تن با سرعت ۷۲km/h در حرکت است. راننده اتومبیل ناگهان مانعی را در ۳۰ متری خود می‌بیند و ترمز می‌کند. اگر ضریب اصطکاک بین لاستیک اتومبیل و جاده ۰/۵ باشد، آیا اتومبیل به مانع برخورد می‌کند؟

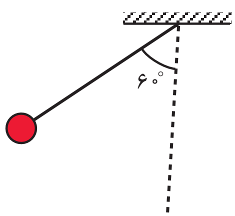
این تمرین را یک بار با استفاده از قضیه کار و انرژی و بار دیگر با استفاده از معادله‌های فصل حرکت‌شناسی و دینامیک حل کنید.

۶ــ آونگی به جرم m و طول l را مطابق شکل (۴ــ۱۷) به اندازهٔ °۶۰ از وضعیت قائم منحرف و از حال سکون رها می‌کنیم.

الف ــ سرعت آونگ هنگامی که از وضعیت قائم می‌گذرد چقدر است؟

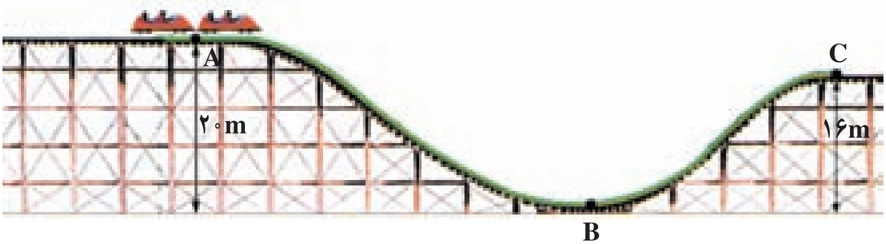
ب ــ آونگ تا چه ارتفاعی بالا می‌رود؟

(از مقاومت هوا صرف‌نظر کنید.)



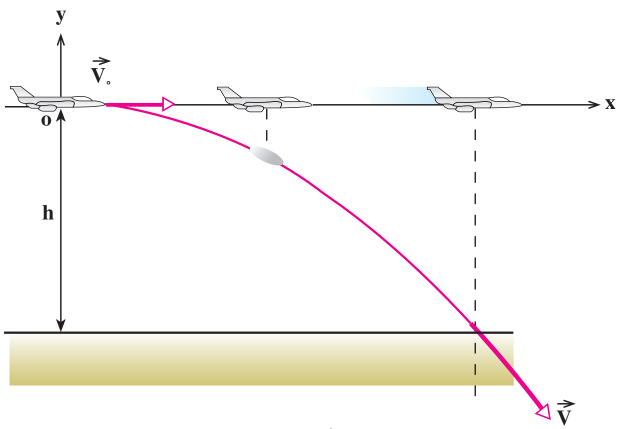
شکل ۴ــ۱۷

۷ــ درشکل (۴ــ۱۸) یک واگن تفریحی نشان داده شده است. اگر واگن در A ازحـال سکون شروع به حرکت کند، سرعت آن در B و C چقدر است؟ از اصطکاک قطار با ریل صرف‌نظر کنید.



شکل ۴ــ۱۸

۸ــ در شکل (۴ــ۱۹) هواپیمای بمب‌افکنی که در ارتفاع ۲۰۰ متری با سرعت ۹۰۰km/h به‌طور افقی پرواز می‌کند بمب خود را رها می‌کند. سرعت بمب در هنگام برخورد به زمین چه‌قدر است؟ (از مقاومت هوا صرف‌نظر کنید.)



شکل ۴ــ۱۹

۹ــ شخصی به جرم ۷۰ کیلوگرم، ۵۰ پله را در زمان یک دقیقه طی می‌کند. توان متوسط او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را ۳۰ سانتی‌متر فرض کنید.

۱۰ــ آسانسوری با سرعت ثابت ۱۰ نفر مسافر را در ۳ دقیقه تا ارتفاع ۸۰ متر بالا می‌برد. اگر جرم متوسط هرمسافر ۸۰kg و جرم آسانسور ۱۰۰۰kg باشد، توان متوسط موتور آن چند وات است؟



قلم‌زنی در ایران

تغییر حالت قیر از مایع به جامد و از جامد به مایع، به صنعتگران قلم‌زن کمک می‌کند تا بدون سوراخ‌شدن فلز، بر روی آن نقش و نگارهای متنوعی ایجاد کنند.

فصل ۵

ویژگی‌های ماده

هنگامی که رفتار ماده را در حالت‌های گاز، مایع و جامد مورد بررسی قرار می‌دهیم، سؤال‌های زیادی مشابه سؤال‌های زیر برای ما مطرح می‌شوند :

چرا تغییر شکل جامدها مشکل است؟ چرا مایع‌ها شکل ظرف را به‌خود می‌گیرند؟ چرا قطره آبی که از شیر جدا می‌شود، درحین سقوط نیز قطره باقی می‌ماند؟ چرا گازها را می‌توان متراکم کرد، ولی مایع‌ها را نمی‌توان به‌آسانی متراکم کرد؟



شکل ۵ــ۱ــ مراحل سقوط یک قطره شیر و برخورد آن به سطح این مایع در لحظه‌های مختلف عکس‌برداری شده است.در عکس‌برداری از رنگ‌های متفاوت نور استفاده شده است.

این مشاهده‌ها و بسیاری پدیده‌های دیگر را، که در این فصل با آن‌ها آشنا خواهید شد، می‌توان با توجه به نیروهای بین مولکول‌ها و چگونگی حرکت مولکول‌ها در داخل ماده توضیح داد.

۵ــ۱ــ حالت‌های مختلف ماده

می‌دانیم که مولکول‌ها کوچک‌ترین جزء سازنده ماده‌اند[۱]. اندازه اتم‌ها در حدود یک انگستروم ($A^\circ = 10^{-10} m$) است. اندازه مولکول‌ها بستگی به این امر دارد که از چند اتم تشکیل شده است. در فعالیت زیر می‌توانید اندازه یک مولکول روغن را برآورد کنید.

فعالیت ۵ــ۱

یک قطره روغن را روی سطح آب بچکانید. قطره روغن روی سطح آب گسترش می‌یابد. هرچه سطح آب وسیع‌تر باشد، گسترش روغن بیش‌تر است. این گسترش آن‌قدر ادامه می‌یابد تا در روی سطح آب لایه‌نازکی که ضخامت آن در حدود اندازهٔ یک مولکول است تشکیل شود. با اندازه‌گیری تقریبی مساحت روغن در روی سطح آب و نیز اندازه‌گیری حجم قطره (در فصل ۱ روشی برای اندازه‌گیری آن داده شده است) می‌توانید ضخامت لایه را برآورد کنید. ضخامت لایه برآوردی از اندازه مولکول روغن است.

ماده‌ها در حالت (فاز)های گاز، مایع و جامد یافت می‌شوند. اکنون به بررسی این حالت‌ها می‌پردازیم.

الف ــ گاز: در حالت گازی مولکول‌ها آزادانه به اطراف حرکت می‌کنند و با یکدیگر و با دیواره ظرف برخورد می‌کنند. فاصله مولکول‌ها در حالت گاز درحدود چند ده برابر فاصلهٔ آن‌ها در مایع و جامد است. ویژگی‌هایی را که در بالا شرح دادیم می‌توان تا حدودی با انجام فعالیت‌ها و مشاهده‌های زیر دریافت.

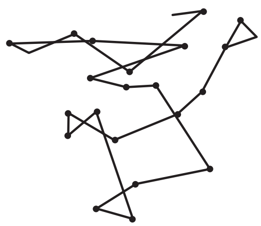
فعالیت ۵ــ۲

در یک ظرف نوشابه پلاستیکی را ببندید و سعی کنید آن را متراکم کنید. سپس آن‌را پر از آب کنید و دوباره سعی کنید آن را متراکم کنید. درکدام حالت متراکم کردن ظرف مشکل‌تر است؟

۱ــ در مواردی نیز که کوچک‌ترین جزء سازنده ماده اتم است برای سادگی از واژه مولکول برای این جزء استفاده کرده‌ایم.

از این فعالیت می‌توان دریافت که فاصله مولکول‌ها در حالت گاز بیش‌تر از فاصله آن‌ها در حالت مایع است.

وقتی یک گل خوشبو را وارد اتاق می‌کنید و یا این‌که در یک شیشه عطر را در اتاق باز می‌کنید، بوی خوش آن‌ها را می‌توانید در تمام اتاق حس کنید. برای توجیه این پدیده می‌توان گفت که وقتی مولکول هوا به مولکول عطر برخورد می‌کند، مسیر حرکت آن را تغییر می‌دهد. مولکول عطر پس از این برخورد به حرکت خود در امتداد یک خط مستقیم ادامه می‌دهد. برخورد بعدی با یک مولکول دیگر هوا مجدداً مسیر مولکول عطر را تغییر می‌دهد، در نتیجه، مولکول‌های عطر مطابق شکل (۵ــ۲) در مسیر خط شکسته حرکت می‌کنند. به‌این‌ترتیب مولکول‌های عطر دراثر برخورد با مولکول‌های هوا به قسمت‌های مختلف اتاق منتقل می‌شوند. این پدیده، **پخش** مولکول‌های عطر در اتاق نامیده می‌شود. از این مشاهده می‌توان دریافت که مولکول‌ها در هوا آزادانه به اطراف حرکت و با یکدیگر برخورد می‌کنند.


شکل ۵ــ۲

ب ــ مایع : فاصله مولکول‌ها در مایع در مقایسه با گاز بسیار کم است (در حدود 10^{-10} m). در مایع مولکول‌ها به اطراف خود حرکت می‌کنند و به سهولت روی هم می‌لغزند.

فعالیت ۵ ــ ۳

یک قطره جوهر را در داخل آب بریزید. مدتی صبر کنید. چه مشاهده می‌کنید؟

این مشاهده کدام ویژگی مایع را که در بالا شرح داده شد نشان می‌دهد؟

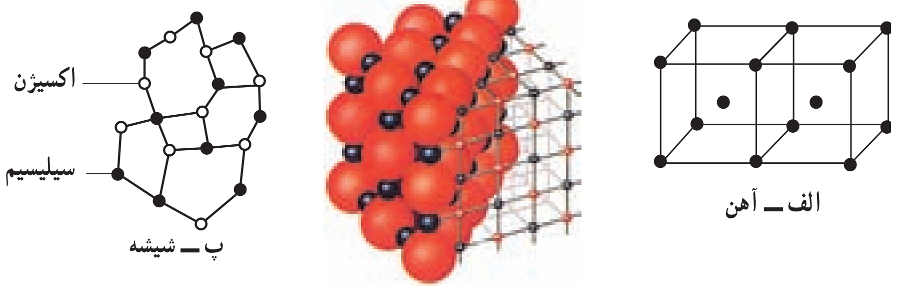
فعالیت ۵ ــ ۴

هنگامی که لیوانی را که پر از آب است کج می‌کنیم، آب به راحتی از آن می‌ریزد.

این پدیده کدام‌یک از ویژگی‌های مایع را که در بالا ذکر شد نشان می‌دهد؟

پ ــ جامد: درجامد فاصله مولکول‌ها مانند فاصله آن‌ها در مایع است (یعنی، در حدود 10^{-10} m). آن‌ها نمی‌توانند، مانند وضعیتی که در حالت‌های مایع و گاز دارند، آزادانه به اطراف حرکت کنند. بلکه، در جامد در مکان‌های خاصی قرار می‌گیرند و فقط می‌توانند در اطراف این مکان‌ها حرکت‌های نوسانی (رفت و برگشتی) بسیار کوچکی انجام دهند.

درجامدهای بلورین مولکول‌ها در طرح‌های منظمی مانند شکل‌های (۵ــ۳ الف و ب) در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و جامدهای بلورین از تکرار این طرح‌ها حاصل می‌شوند. فلزها و بیشتر سنگ‌ها مانند نمک‌طعام و الماس جامدهای بلورین هستند.



ب ــ نمک طعام

شکل ۵ــ۳

جامدهای بلورین معمولاً هنگامی تشکیل می‌شوند که مایع را به آهستگی سرد کنیم. در این‌صورت مولکول‌ها فرصت دارند که در طرح منظمی خود رامرتب کنند.

در جامدهای بی‌شکل مانند شیشه، برخلاف جامدهای بلورین، مولکول‌ها، مانند شکل (۵ــ۳ــپ) در طرح منظمی درکنار یکدیگر قرار ندارند. این جامدها، معمولاً از سرد کردن سریع مایع به‌دست می‌آیند. با این عمل مولکول‌ها فرصت کافی پیدا نمی‌کنند که خود را در طرح منظمی مرتب کنند. در نتیجه، تا حدود زیادی در وضعیت نامنظمی که درحالت مایع داشتند باقی می‌مانند.

دیدیم که فاصله مولکول‌ها در گاز بسیار بیشتر از فاصله آن‌ها در جامد و مایع است. با معرفی کمیت بسیار مهمی به نام چگالی می‌توان درستی این امر را تحقیق کرد.

۵ــ۲ــ چگالی

ما در زندگی روزمره با جامدها، مایع‌ها و گازهای مختلف سر و کار داریم. ممکن است بخواهیم جرم آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کنیم و ببینیم مثلاً درمیان مایع‌ها جرم یک حجم معین از کدام مایع بیشتر از دیگری است. برای پاسخ دادن به این سؤال لازم است به آزمایش (۵ــ۱) توجه کنید :

آزمایش ۵ـ۱

وسایل و مواد لازم: یک لیوان، مایع‌های مختلف مانند : آب، الکل صنعتی، روغن، مایع ظرف‌شویی، ... و ترازو

یک لیوان اختیارکنید و حجم داخلی آن را اندازه‌گیری کنید. سپس در آن مایع‌های مختلف بریزید و جرم آن‌ها را اندازه‌گیری و جدول زیر را تکمیل کنید.

مایع	حجم (V) m^3	جرم (m) kg	m/V kg/m^3
آب			
الکل صنعتی			
مایع ظرف‌شویی			
روغن			

نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

جرم یکای حجم از هر جسم، **چگالی** آن نامیده می‌شود و چگالی را با نماد ρ نمایش می‌دهیم. اگر جرم جسم m و حجم آن V باشد، چگالی آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید :

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (۱ـ۵)$$

یکای چگالی kg/m^3 است. در آزمایش (۵ـ۱) با تقسیم کردن جرم هرمایع به حجم آن چگالی آن مایع را به‌دست آورده‌اید. چگالی مواد مختلف در سه حالت جامد، مایع و گاز در جدول (۵ـ۱) آمده است.

چگالی آب را که در آزمایش (۵ـ۱) به‌دست آمده است با آنچه که در جدول (۵ـ۱) برای آب ذکر شده مقایسه و در صورتی که تفاوتی مشاهده می‌کنید علت‌های ممکن را بیان کنید.

فعالیت ۵ـ۵

در روی بعضی اجناس (مانند روغن، شامپو، مایع ظرف‌شویی و ...) جرم یا حجم آن‌ها نوشته شده است. چگالی آن‌ها را اندازه‌گیری کنید.

فعالیت ۵ـ۶

چگالی یک جامد، مانند قاشق، کارد و ... را به‌دست آورید.

برای اندازه‌گیری حجم آن‌ها می‌توانید از یک استوانه مدرج حاوی آب استفاده کنید. با انداختن این اجسام در این استوانه حجم آب به اندازه حجم جسم افزایش می‌یابد.

جدول ۵ــ۱ــ چگالی برخی مواد

جامدها	چگالی (kg/m^3)	مایع‌ها	چگالی (kg/m^3)	گازها	چگالی (kg/m^3)
پلاتین	۲۱۴۰۰	جیوه	۱۳۶۰۰	دی‌اکسید کربن	۲
طلا	۱۹۳۰۰	آب (۴°C)	۱۰۰۰	اکسیژن	۱/۴۳
سرب	۱۱۳۰۰	نفت	۸۰۰ ــ ۹۵۰	هوا	۱/۲۹
نقره	۱۰۵۰۰	هوای مایع (۱۹۴°C−)	۹۲۰	هلیوم	۰/۱۸
مس	۸۹۳۰	ازت مایع (۱۹۶°C−)	۸۱۰	هیدروژن	۰/۰۹
آهن (فولاد)	۷۸۰۰	الکل (اتانول)	۷۹۰		
روی	۶۹۰۰	هلیوم مایع (۲۶۹°C−)	۱۲۵		
چوب	۲۵۰ ــ ۱۰۰۰				
آلومینیوم	۲۷۰۰				
یخ	۹۲۰				

* در مواردی که دما ذکر نشده است، چگالی مربوط به دمای ۰°C است.

فعالیت ۵ـ۷

ازمقایسه چگالی هوا درحالت‌های گاز و مایع و نیز هلیوم در این دو حالت چه نتیجه‌ای می‌توان درمورد فاصله مولکول‌ها در حالت‌های گاز و مایع به‌دست آورد؟

یکی از موارد استفاده از چگالی این است که می‌توان با استفاده از آن با داشتن هریک از دو کمیت جرم یا حجم دیگری رامحاسبه کرد.

مثال ۵ـ۱

جرم یک لیتر آب چند کیلوگرم است؟

حل: با استفاده از جدول (۵ـ۱) چگالی آب $1000 kg/m^3$ است. یک لیتر برابر با $10^{-3} m^3$ است. در نتیجه :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1000 = \frac{m}{10^{-3}}$$

که از آن مقدار $m = 1kg$ به‌دست می‌آید.

فعالیت ۵ـ۸

اگر برای اندازه‌گیری جرم جسمی وزنه دراختیار نداشته باشید، چگونه می‌توانید جرم آن را تعیین کنید؟

فعالیت ۵ـ۹

حجم داخل یک سطل را با روش‌های مختلف اندازه بگیرید و نتیجه‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید.

۵ـ۳ـ نیروهای چسبندگی

اگر به یک قطره آب که از شیر می‌چکد توجه کنیم، می‌بینیم که قطره پس از جدا شدن از شیر در تمام طول مسیر به‌صورت قطره باقی می‌ماند. مولکول‌های این قطره درحین سقوط از یکدیگر دور نمی‌شوند و متصل به یکدیگر باقی می‌مانند. برای توجیه این پدیده می‌توان گفت که بین مولکول‌های مایع یک نیروی ربایشی وجود دارد که **نیروی چسبندگی** نامیده می‌شود. این نیرو مولکول‌های مایع را در قطره متصل به یکدیگر نگاه می‌دارد. تأثیر این نیرو را می‌توان در پدیده‌های مختلف مشاهده کرد.

اکنون ممکن است این سؤال مطرح شود که چرا این نیروی ربایشی باعث نمی‌شود که مولکول‌ها

درهم فرو روند. برای توضیح‌دادن این امر می‌توان گفت که وقتی مولکول‌ها به‌هم بسیار نزدیک می‌شوند یک نیروی رانشی قوی بین آن‌ها ایجاد می‌شود که از نزدیک‌شدن بیش‌تر آن‌ها جلوگیری می‌کند. درواقع، این که ظرف حاوی آب در فعالیت (۵ــ۲) را به آسانی نمی‌توان متراکم کرد حاکی از این است که با متراکم کردن اندک ظرف، مولکول‌های آن، آن‌قدر به یکدیگر نزدیک می‌شوند که نیروی رانشی قوی که در بالا به آن اشاره شد بین مولکول‌ها ایجاد شود. این نیرو مانع متراکم کردن بیش‌تر آب می‌شود. نیروی رانشی بین مولکول‌ها عاملی است که مایع‌ها را تقریباً تراکم‌ناپذیر می‌کند. در نتیجه، با توجه به نکات بالا می‌توان گفت که در فاصله‌های خیلی کوتاه (در مقایسه با فاصله بین مولکول‌ها در حالت مایع) نیروی بین مولکولی رانشی است و در فاصله‌های بیشتر این نیرو ربایشی است. نیروهای بین مولکولی کوتاه بُرد هستند. یعنی، وقتی فاصله مولکول‌ها چند برابر فاصله بین مولکولی می‌شود نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر می‌شوند.

فعالیت ۵ ــ ۱۰

با توجه به مطالبی که در بالا درمورد نیروهای بین مولکولی بیان شد، توضیح دهید چرا مولکول‌های عطر در شکل (۵ــ۲) ناگهان تغییر مسیر می‌دهند؟

۵ــ۴ــ کشش سطحی

دیدیم که تشکیل قطره آب وجود نیروهای چسبندگی را نشان می‌دهد. ولی پدیده‌های دیگری نیز وجود دارند که به کمک آن‌ها می‌توان به‌وجود نیروهای چسبندگی پی‌برد. یکی از این پدیده‌ها اثر کشش‌سطحی است که اکنون به توصیف آن می‌پردازیم.

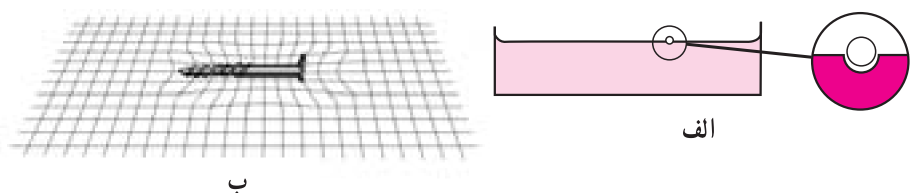
آزمایش ۵ ــ ۲

وسایل لازم: سوزن، دستمال کاغذی و یک ظرف آب

سوزن را بر روی یک تکه کوچک دستمال کاغذی قرار دهید و آن‌ها را روی سطح آب بگذارید. پس از مدتی دستمال خیس می‌شود و از سطح آب پایین می‌رود. سوزن بر روی سطح آب شناور باقی می‌ماند.

اگر به سطح آب توجه کنید، ملاحظه خواهید کرد که مطابق شکل (۵ــ۴ــ الف) در سطح آب یک فرورفتگی ایجاد می‌شود. این پدیده مشابه نگاهداری یک پیچ توسط یک پارچه توری است.

همان‌طور که در شکل (۵ــ۴ــ ب) دیده می‌شود، با قرار دادن پیچ یک فرورفتگی در پارچه توری ایجاد می‌شود.



شکل ۵ــ۴

همان‌طور که نخ‌های توری به یکدیگر متصل‌اند و پیچ را نگاه می‌دارند، مولکول‌های آب نیز مانند شکل (۵ــ۴ــ الف) با نیروهای چسبندگی یکدیگر را می‌ربایند و باعث می‌شوند که سطح آب مانند یک توری یا پوسته کشیده رفتار کند و سوزن را نگاه دارد. این رفتار سطح را کشش‌سطحی می‌نامند.



شکل ۵ــ۵

فعالیت ۵ ــ ۱۱

در شکل (۵ــ۵) حشره چگونه می‌تواند روی آب بایستد؟

۵ــ۵ــ نیروهای چسبندگی سطحی

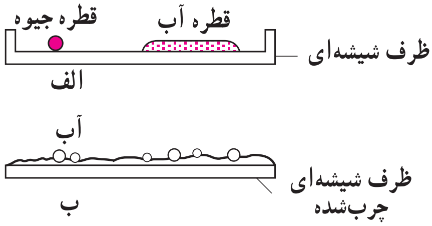
دیدیم که بین مولکول‌های یک ماده یک نیروی چسبندگی وجود دارد. این نیرو باعث می‌شود که پدیده‌های جالبی رخ دهد که در بحث‌های قبل دیدیم. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند نیز پدیده‌هایی اتفاق می‌افتند که اکنون به توصیف آن‌ها می‌پردازیم.

فعالیت ۵ـ۱۲

یک قطره آب را بر روی یک ظرف شیشه‌ای تمیز و خشک قرار دهید. یک‌بار نیز سطح شیشه را با روغن چرب کنید و سپس قطره را روی سطح آن قرار دهید.

آزمایش بالا را با یک قطره جیوه بر روی یک ظرف شیشه‌ای تمیز تکرار کنید.

مشاهده‌های خود را به کلاس گزارش کنید و توجیه‌های خود را به‌بحث بگذارید.



شکل ۵ـ۶

درآزمایش اول قطره آب مطابق شکل (۵ـ۶ـ الف) بر روی سطح پهن می‌شود. در این‌صورت می‌گویند آب سطح شیشه را تر می‌کند. در آزمایش دوم قطره آب مطابق شکل (۵ـ۶ـ ب) به‌صورت کروی درمی‌آید. قطره جیوه بر طبق شکل (۵ـ۶ـ الف) بر روی ظرف شیشه‌ای به‌صورت کروی درمی‌آید.

برای توجیه این مشاهدات می‌توان گفت بین مولکول‌های آب و شیشه نیز نیرویی وجود دارد که نیروی **چسبندگی سطحی** نامیده می‌شود. در فعالیت اول نیروی چسبندگی سطحی بیش‌تر از نیروی چسبندگی است و آب بر روی سطح شیشه پهن می‌شود. در فعالیت دوم، نیروی چسبندگی سطحی کمتر از نیروی چسبندگی است و آب به‌صورت کروی درمی‌آید.

۵ـ۶ـ موئینگی

یکی دیگراز اثرهای نیروی چسبندگی سطحی، موئینگی است که اکنون به توصیف آن می‌پردازیم :

آزمایش ۵ـ۳

وسایل لازم: یک ظرف آب، یک ظرف جیوه، لوله‌های موئین با قطرهای متفاوت

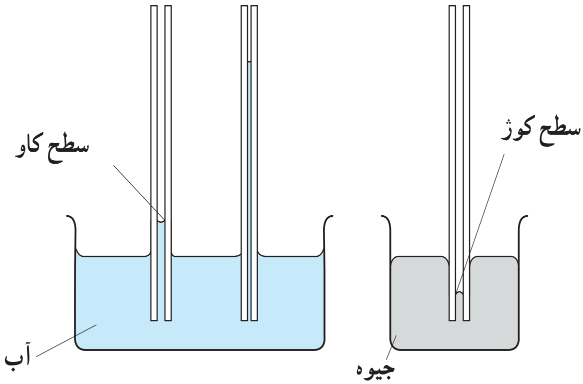
لوله‌های موئین را وارد ظرف‌های آب و جیوه کنید و مشاهدات خود را یادداشت کنید و به کلاس گزارش دهید. دلیل‌های توجیهی خود را در کلاس به بحث بگذارید.

درآزمایش (۵ـ۳) می‌توان موردهای زیر را مشاهده کرد :

۱ـ سطح آب در لوله موئین دارای فرورفتگی است.

۲ـ آب در لوله موئین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد.

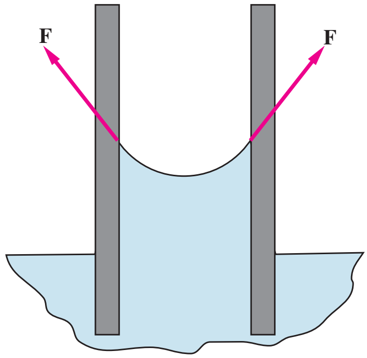
۳ـ سطح جیوه در لوله موئین دارای برآمدگی است.



شکل ۵ــ۷

۴ــ جیوه در لوله موبین بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه در ظرف قرار می‌گیرد.

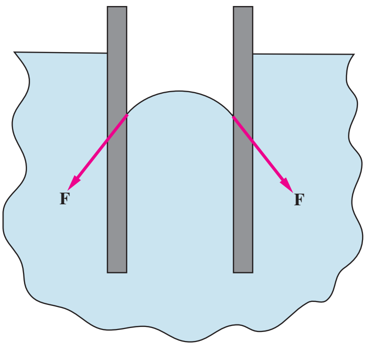
در مورد اول نیروی چسبندگی سطحی بیشتر از نیروی چسبندگی است. در نتیجه مولکول‌های آب به طرف سطح داخلی لوله موبین کشیده می‌شوند و در سطح آب مانند شکل (۵ــ۸) فرورفتگی ایجاد می‌شود.



شکل ۵ــ۸

از طرف سطح داخلی لوله موبین نیروی F مطابق شکل به آبی که با لوله در تماس است وارد می‌شود. این نیرو باعث بالا رفتن آب در لوله موبین می‌شود.

در مورد سوم، نیروی چسبندگی بیش‌تر از نیروی چسبندگی سطحی است. مولکول‌های جیوه که به سطح داخلی لوله موبین نزدیک‌اند به طرف مرکز لوله کشیده می‌شوند و در سطح جیوه مطابق شکل (۵ــ۹) برآمدگی ایجاد می‌شود.



شکل ۵ــ۹

از طرف سطح داخلی لوله مویین نیروی F مطابق شکل به جیوه‌ای که با لوله در تماس است وارد می‌شود. این نیرو باعث پایین رفتن جیوه در لوله‌مویین می‌شود.

فعالیت ۵ ــ ۱۳

آزمایشی طراحی کنید که در آن سطح آب در لوله‌مویین دارای برآمدگی باشد و سطح آن نسبت به سطح آب در ظرف پایین رود.

فناوری و کاربرد



مصالح ساختمانی از قبیل خاک و آجر و سیمان به سبب مویینگی آب را به درون خود می‌کشند. برای جلوگیری از این عمل، از قیر که آب در آن نفوذ نمی‌کند، استفاده می‌کنند و قبل از ساختن ساختمان زمین را قیراندود می‌کنند تا از نفوذ رطوبت به داخل ساختمان جلوگیری شود.

فعالیت ۵ ــ ۱۴

درگذشته در ایران به جای قیراندود کردن چگونه از نفوذ آب باران به داخل ساختمان جلوگیری می‌کردند؟

فعالیت ۵ ــ ۱۵

درگیاهان آب و مواد غذایی لازم دیگر بر اساس مویینگی از آوندهای چوبی بالا می‌روند. مواد دیگری را نام ببرید که در اثر این خاصیت آب در آن‌ها نفوذ می‌کند.

اکنون که با نیروهای بین مولکولی آشنا شده‌ایم به بررسی برخی خواص مایع‌ها و گازها می‌پردازیم.

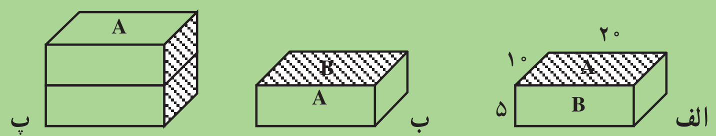
۵ــ۷ــ فشار

اگر با کفش روی برف بایستیم، مقداری در آن فرو می‌رویم. ولی اگر چوب اسکی به پا داشته باشیم، کمتر در برف فرو می‌رویم علت چیست؟ در این مثال، وزن تغییر نکرده است. بلکه سطح

تماس ما با برف افزایش یافته است. در حالتی که چوب اسکی به پا داریم، نیروی وارد بر سطح در مقایسه با حالتی که با کفش در برف ایستاده‌ایم در سطح بیش‌تری توزیع شده است و در نتیجه کمتر در برف فرو می‌رویم.

فعالیت ۵ـ۱۶

در شکل (۵ـ۱۰ـ الف) آجری به ابعاد $5\,cm \times 10\,cm \times 20\,cm$ نشان داده شده است. مساحت وجه A برابر $200\,cm^2$ و مساحت وجه B برابر $100\,cm^2$ است. سطح مقداری ماسه‌نرم را صاف کنید و آجر را از وجه B روی آن قرار دهید. (شکل ۵ـ۱۰ـ ب) مقدار فرورفتگی آجر را در شن اندازه‌گیری و یادداشت کنید. سپس آجر را از وجه A روی ماسه قرار دهید و آجر یکسان دیگری را روی آن بگذارید (شکل ۵ـ۱۰ـ پ). مقدار فرورفتگی را مجدداً اندازه‌گیری و یادداشت کنید. مشاهده خود را به کلاس گزارش دهید و توجیه آن را به بحث بگذارید.



شکل ۵ـ۱۰

از فعالیت (۵ـ۱۶) مشاهده خواهیم کرد که مقدار فرورفتگی در دو حالت یکسان است. علت این است که در آزمایش دوّم، هم وزن را دوبرابر کرده‌ایم و هم سطح تماس را. در نتیجه، نیرویی که به هر بخش از سطح تماس وارد می‌شود مانند حالت اول است. کمیتی که ما در این‌جا با آن سر و کار داریم، اندازهٔ نیروی عمودی وارد بر واحد سطح است که **فشار** نامیده می‌شود. اگر اندازه نیروی عمود بر سطح A برابر F باشد، فشار وارد بر سطح A با رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$P = \frac{F}{A} \qquad (۵ـ۲)$$

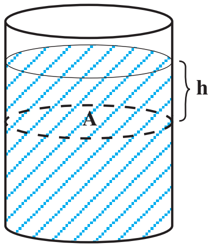
واحد فشار در SI، N/m^2 است که پاسکال (Pa) نامیده می‌شود.

دراین رابطه اگر F و A را دوبرابر کنیم، فشار P تغییر نمی‌کند.

فعالیت ۵ـ۱۷

چرا پاشنه نوک‌تیز به کف چوبی اتاق آسیب می‌رساند؟

۵ــ۸ــ محاسبه فشار در مایع‌ها



شکل ۵ــ۱۱

برای محاسبه فشار در داخل مایع‌ها، مایعی را با چگالی ρ در داخل یک ظرف مطابق شکل (۵ــ۱۱) درنظر می‌گیریم. وزن مایعی که در بالای سطح A در عمق h از سطح مایع قرارگرفته است فشاری را در این سطح ایجاد می‌کند که اکنون به محاسبه آن می‌پردازیم:

جرم مایع موجود در بالای سطح A برابر است با:

$$m=\rho V=\rho hA$$

وزن این بخش از مایع برابر با ρhAg است. در نتیجه، فشار حاصل از مایعی که در بالای A قرار دارد در این‌عمق برابر است با:

$$P=\frac{\rho hAg}{A}$$

$$P=\rho gh \qquad (۵ــ۳)$$

مثال ۵ـ۲

در داخل ظرف شکل (۵ــ۱۱) به ارتفاع ۲۰cm آب ریخته‌ایم. فشار ناشی از مایع در ته‌ظرف چه‌قدر است؟

حل:

$$P=\rho gh=۱۰۰۰\times۹/۸\times۰/۲=۱۹۶۰Pa$$

رابطه (۵ــ۳) نشان می‌دهد که فشار ناشی از مایع ساکن فقط به عمق از سطح آزاد مایع بستگی دارد و نقاط هم‌عمق هم‌فشارند. هم‌چنین، هرچه عمق بیشتر شود فشار مایع افزایش می‌یابد. این امر را در هنگام شناکردن در زیر آب حس می‌کنیم.

فعالیت ۵ـ۱۸

یک قوطی خالی را انتخاب و آن را در عمق‌های مختلف سوراخ کنید. سپس آن‌را پر از آب کنید. مشاهده‌های خود را توجیه کنید.

رابطه (۵ــ۳) را می‌توان برای گازها نیز به‌کار برد. یعنی، اگر گاز در داخل محفظه‌ای محبوس باشد، فشار ناشی از وزن گاز از این رابطه به‌دست می‌آید. ولی، چون چگالی گازها خیلی کم است،

هنگامی‌که ارتفاع گاز داخل محفظه کوچک است، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است و در نتیجه، فشار را در این موارد می‌توان در تمام نقاط گاز یکسان درنظر گرفت.

۵ــ۹ــ فشار هوا

هوا گازی است که اطراف کرهٔ زمین را اشغال کرده است و در زندگی جانداران و گیاهان نقش اساسی و حیاتی دارد. در اثر وجود هوا پدیده‌های متفاوتی در سطح زمین ایجاد می‌شود که در این‌بخش و بخش‌های بعد به بررسی برخی از آن‌ها می‌پردازیم.

در بخش قبل دیدیم که فشار ناشی از وزن گاز، در مواردی که ارتفاع آن کم است، ناچیز است. در مورد جو زمین ارتفاع هوا زیاد است و فشار ناشی از آن قابل ملاحظه است. این فشار، فشار هوا نامیده می‌شود.

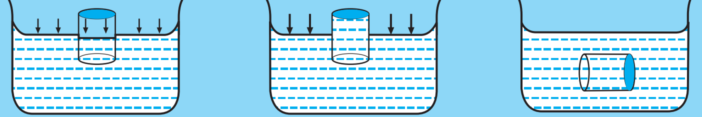
فعالیت ۵ ــ ۱۹

در داخل یک بطری پلاستیکی مقدار کمی آب‌جوش بریزید و در آن را محکم ببندید. سپس آب سرد روی آن بریزید. مشاهده خود را به کلاس گزارش کنید و علت را در کلاس به بحث بگذارید.

آزمایش ۵ ــ ۴

وسایل لازم: یک لیوان، یک ظرف

در ظرفی آب بریزید و لیوان را مطابق شکل (۵ــ۱۲ــ الف) در داخل ظرف قرار دهید. سپس درحالی که دقت می‌کنید هوا به داخل لیوان وارد نشود، انتهای آن را مطابق شکل (۵ــ۱۲ــ ب) بیرون آورید. مشاهده خود را یادداشت کنید. سپس لیوان را به‌صورت وارونه مطابق شکل (۵ــ۱۲ــ پ) وارد آب کنید. چه مشاهده می‌کنید؟ توجیه‌های خود را در کلاس به بحث بگذارید.



پ	ب	الف

شکل ۵ــ۱۲

در این آزمایش مشاهده می‌کنید که درحالت اول آب مطابق شکل (۵ــ۱۲ــ ب) درون لیوان باقی می‌ماند. چه عاملی مانع پایین آمدن آب در لیوان وارونه می‌شود؟ هوا به سطح آب درون ظرف نیرو وارد می‌کند و آب را در درون لیوان نگاه می‌دارد. در شکل (۵ــ۱۲ــ پ)، هوای داخل لیوان که خارج نشده است نیز به سطح آب نیرو وارد می‌کند و مانع بالا رفتن آن می‌شود. در واقع اگر به طریقی می‌توانستیم هوای داخل لیوان را خالی کنیم، آب در داخل لیوان بالا می‌رفت.

فعالیت ۵ ــ ۲۰

هنگامی که با نی نوشابه می‌نوشیم، چرا نوشابه از نی بالا می‌آید؟

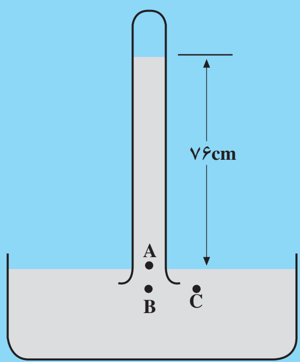
فعالیت ۵ ــ ۲۱

آزمایش (۵ــ۴) را با یک لیوان پلاستیکی انجام دهید. اگر درحالت (ب) ته‌لیوان را سوراخ کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ مشاهده خود را توجیه کنید.

آزمایش ۵ ــ ۵

وسایل لازم: یک لوله آزمایش بلند (در حدود یک متر)، یک ظرف حاوی جیوه.

لوله را پر از جیوه کنید و در حالی که سر آن را با انگشت مسدود کرده‌اید، لوله را وارونه کنید و درون ظرف حاوی جیوه فرو برید و انگشت خود را از آن دور کنید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید. (چون جیوه سمی است و ممکن است جذب پوست شود، آزمایش را با یک دستکش پلاستیکی انجام دهید.)



شکل ۵ــ۱۳

در این آزمایش نیز جیوه درون لوله آزمایش وارونه باقی می‌ماند. ولی برخلاف آزمایش (۵ــ۴) که در آن آب تمام لیوان وارونه را پُر می‌کرد، در این‌جا قسمتی از بالای لوله وارونه خالی می‌ماند. چون درحین آزمایش مانع واردشدن هوا به داخل لوله آزمایش شده‌ایم، در این‌قسمت خلأ خواهیم داشت. اگر این آزمایش در سطح دریای آزاد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه ۷۶ سانتی‌متر خواهد شد. اگر آزمایش در محلی که بالاتر از سطح دریای آزاد قرار دارد انجام شود، ارتفاع ستون جیوه کمتر خواهد شد.

نتیجهٔ این آزمایش به سطح مقطع لوله‌آزمایش بستگی ندارد. یعنی اگر سطح مقطع لوله را تغییر دهیم (مثلاً اندازهٔ آن را دو برابر کنیم) ارتفاع ستون جیوه تغییر نخواهد کرد. (چرا؟)

اکنون می‌توانید فشار هوا را در سطح دریای آزاد تعیین کنید. در این محل، همان‌طورکه در آزمایش (۵ــ۵) دیدیم، ارتفاع ستون جیوه داخل لوله وارونه در شکل (۵ــ۱۳) برابر ۷۶ سانتی‌متر است. فشاری که ستون جیوه در سطح A ایجاد می‌کند برابر با فشار هوا در روی سطح جیوه در داخل ظرف است. زیرا، در غیراین‌صورت فشار در نقطه‌های هم عمق B و C در این شکل متفاوت خواهد بود و مایع بین این دو نقطه جریان خواهد یافت و چون این امر اتفاق نمی‌افتد باید فشار در سطح A و سطح جیوه در داخل ظرف برابر باشند. فشاری که ستون جیوه در سطح A ایجاد می‌کند، با استفاده از رابطه (۵ــ۳) و جدول (۵ــ۱) برابر است با :

$$P = \rho gh = ۱۳۶۰۰ \times ۹/۸۱ \times ۰/۷۶ = ۱/۰۱ \times ۱۰^{۵}\ \text{Pa}$$

این فشار یک آتمسفر (atm) نامیده می‌شود. در نتیجه، فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با $۱/۰۱\times۱۰^{۵}$ Pa یا یک آتمسفر است. متداول است که به جای محاسبه ρgh فشار را برحسب ارتفاع ستون جیوه (معمولاً برحسب میلی‌متر) بیان می‌کنند. بنابراین، فشار هوا در سطح دریای آزاد برابر با ۷۶۰ میلی‌متر جیوه (mmHg) است.

با افزایش ارتفاع از سطح زمین، فشار هوا کاهش می‌یابد. رابطه فشار هوا با ارتفاع از سطح زمین پیچیده است. ولی می‌توان نشان داد که تا ارتفاع ۲۰۰۰ متر از سطح زمین فشار هوا تقریباً به‌ازای هر ۱۰m یک میلی‌متر جیوه کاهش می‌یابد.

مثال ۵ــ۳

شهر تهران به‌طور متوسط در ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح آزاد دریا قرار دارد، فشار هوا در آن چند میلی‌متر جیوه و چند پاسکال است؟

دیدیم که به ازای هر $10\,m$ یک میلی‌متر جیوه از فشار هوا کم می‌شود، درنتیجه، فشار هوا در تهران ۱۴۰ میلی‌متر جیوه از فشار هوا در سطح آزاد دریا کمتر است. یعنی $760-140=620\,mmHg$ است.

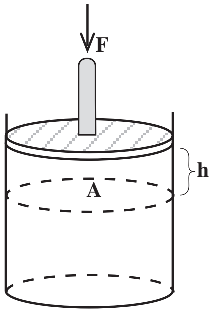
فشار هوا در تهران $=0/620\times13600\times9/8=82633\,Pa$

فعالیت ۵ــ ۲۲

آیا آزمایش (۵ــ۵) را می‌توان با آب انجام داد و فشار هوا را تعیین کرد؟

۵ــ۱۰ــ محاسبه فشار در مایع‌ها با درنظر گرفتن فشار هوا

در بخش (۵ــ۸) فشار ناشی از مایع را در عمق h محاسبه کردیم. در این‌بخش فشار مایع را هنگامی که یک نیروی خارجی اضافی، مثلاً نیروی ناشی از فشار هوا، به سطح مایع وارد می‌شود محاسبه می‌کنیم. برای این‌کار پیستونی را مطابق شکل (۵ــ۱۴) بر روی مایع قرار می‌دهیم فرض کنید نیروی F به پیستون وارد می‌شود.



شکل ۵ــ۱۴

در این حالت، نیروی وارد بر سطح مایع در این عمق برابر است با وزن مایع در بالای این سطح (ρghA) به‌علاوه نیروی F.

در نتیجه، فشار در این عمق برابر است با:

$$P=\frac{\rho ghA+F}{A}$$

$$P=\rho gh+\frac{F}{A} \qquad (۵ــ۴)$$

یعنی، با اعمال نیروی F، فشار در تمام نقاط مایع به اندازهٔ $\frac{F}{A}$ افزایش می‌یابد.

مثال ۵ــ۴

فرض کنید که در مثال (۵ــ۲) یک پیستون با جرم ناچیز بر روی آب قرار دهیم و یک وزنه ۲۰۰ کیلوگرمی بر روی آن بگذاریم. فشار مایع (ناشی از وزنه و وزن مایع)

در ته ظرف چه‌قدر است؟ فرض کنید که سطح مقطع پیستون $۲۰۰cm^۲$ است.

حل: با استفاده از رابطهٔ (۵ــ۴) داریم :

$$P = \rho gh + \frac{F}{A}$$

$$= ۱۹۶۰ + \frac{۲۰۰ \times ۹/۸}{۲۰۰ \times ۱۰^{-۴}} = ۹۹۹۶۰ Pa$$

مشاهده می‌شود که دراین مثال عمدهٔ فشار از وزنه ۲۰۰ کیلوگرمی حاصل شده است.

اگر درشکل (۵ــ۱۱) در بالای مایع هوا وجود داشته باشد، به سطح آزاد مایع نیرو وارد می‌کند و در نتیجه فشار حاصل از آن، که همان فشار هواست، را نیز باید در رابطه (۵ــ۳) منظورکنیم. بنابراین، با استفاده از رابطه (۵ــ۴) داریم

$$P = P_\circ + \rho gh \qquad (۵ــ۵)$$

این فشار، فشار کل و یا فشار مطلق در عمق h از سطح مایع نامیده می‌شود. از این به بعد هر جا که در مورد فشار مایع یا گاز صحبت می‌شود، منظور فشار کل است.

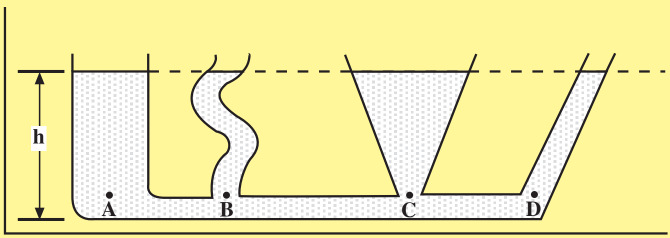
تمرین ۵ــ۱

الف ــ فشار ناشی از آب در عمق ۴ متری یک استخر چه‌قدر است؟

ب ــ فشار کل در این عمق چه‌قدر است؟

مثال ۵ــ۵

همان‌طور که در شکل (۵ــ۱۵) نشان داده شده است، ظرف‌های مختلف به یکدیگر متصل شده‌اند. در این ظرف مایع می‌ریزیم. سطح آزاد مایع در تمام ظرف‌ها در یک



شکل ۵ــ۱۵

ارتفاع قرار می‌گیرند. با توجه به رابطه (۵ــ۵) علت این امر را توضیح دهید.

حل: اگر سطح آزاد مایع در این ظرف‌ها در یک ارتفاع نباشند، بر طبق رابطه (۵ــ۵) باید فشار مایع در نقاط A، B، C و D متفاوت باشد و این امر باعث می‌شود که مایع جریان یابد. چون این امر اتفاق نمی‌افتد باید سطح‌های آزاد هم‌ارتفاع باشند.

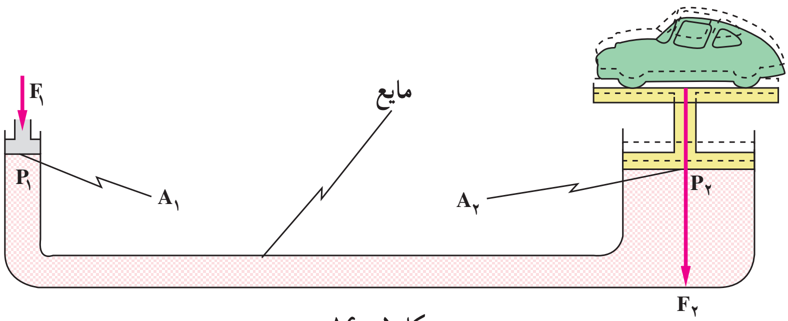
ملاحظه می‌شود که در رابطه (۵ــ۴) فشارمایع در تمام نقاط به اندازهٔ $\frac{F}{A}$ افزایش یافته است. به همین‌ترتیب در رابطه (۵ــ۵) فشار تمام نقاط مایع به اندازهٔ فشار هوا افزایش یافته است. این نتیجه‌ها نمونه‌هایی از کاربرد اصل پاسکال است. برطبق این اصل **فشار وارد بر مایع محصور بدون کاهش به تمام قسمت‌های مایع و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود.**

یکی از کاربردهای مهم اصل پاسکال، بالابر هیدرولیکی است.

فناوری و کاربرد

بالابر هیدرولیکی: از این بالابر برای بالابردن اجسام سنگین، مثلاً اتومبیل (برای پنچرگیری و یا تعویض چرخ‌ها)، استفاده می‌شود.

طرح ساده این بالابر در شکل (۵ــ۱۶) نشان داده شده است.



شکل ۵ــ۱۶

هنگامی که نیروی F_2 برابر با وزن اتومبیل به پیستون سمت راست وارد می‌شود، بنا بر اصل پاسکال فشار حاصل از آن که برابر $\frac{F_2}{A_2}$ است به تمام نقاط مایع، از جمله به سطح زیر پیستون سمت چپ، منتقل می‌شود. برای خنثی کردن نیروی حاصل از آن

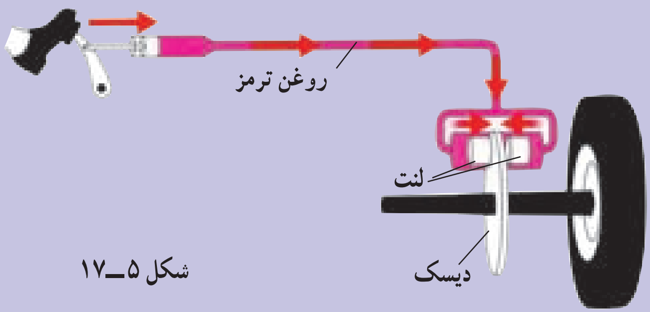
باید نیروی F_1 به این پیستون وارد شود. فشار حاصل از این دو نیرو باید با یکدیگر برابر باشند. در نتیجه :

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

بر طبق این رابطه اگر A_2 خیلی بزرگ‌تر از A_1 باشد، F_2 نیز باید بسیار بزرگ‌تر از F_1 باشد. در نتیجه، می‌توان اجسام سنگین را با نیروی کمی بالا برد.

تمرین ۵ــ۱۰

در شکل زیر دستگاه ترمز اتومبیل نشان داده شده است. توضیح دهید که این دستگاه چگونه عمل می‌کند.

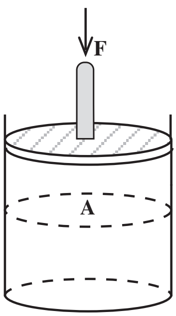


شکل ۵ــ۱۷

۵ ــ ۱۱ــ فشار درگازها

در حالی‌که با انگشت خود دهانه یک سرنگ را بسته‌اید، با حرکت پیستون آن هوای داخل سرنگ را فشرده کنید. چه حس می‌کنید؟ درهنگام باد کردن لاستیک دوچرخه، چرا رفته‌رفته انجام این کار مشکل‌تر می‌شود؟ چرا وقتی پیچ باد دوچرخه را شل می‌کنیم، باد آن خالی می‌شود؟

مثال‌های بالا و مثال‌های مشابه نشان می‌دهند که هوای داخل سرنگ و لاستیک‌ها دارای فشارند. در این حالت‌ها فشار را چگونه می‌توان محاسبه کرد؟ برای انجام این کار گازی را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل (۵ــ۱۸) داخل یک محفظه قرار دارد و از طریق پیستون نیروی F به آن وارد می‌شود.



شکل ۵ــ۱۸

فشاری که این نیرو در زیر پیستون ایجاد می‌کند، برابر با $\frac{F}{A}$ است. بر طبق اصل پاسکال این فشار بدون کاهش به تمام قسمت‌های گاز و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود. بنابراین، با توجه به این که فشار ناشی از وزن گاز ناچیز است، فشار گاز در داخل ظرف با رابطه زیر داده می‌شود :

$$P = \frac{F}{A} \qquad (۵_۶)$$

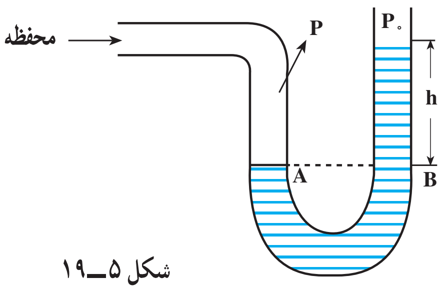
آیا اکنون می‌توانید به پرسش‌هایی که در ابتدای این بخش ذکر شد پاسخ دهید؟

فعالیت ۵ ـ ۲۳

با دست خود خروجی یک تلمبه برای بادکردن چرخ دوچرخه را مسدود و هوای داخل آن را فشرده کنید. فشار گاز داخل تلمبه را برآورد کنید.

برای اندازه‌گیری فشار گاز از فشارسنج استفاده می‌شود.

فشارسنج: برای اندازه‌گیری فشار داخل یک محفظه آن را به یک لوله U شکل مطابق شکل (۵ـ۱۹) وصل می‌کنیم.



شکل ۵ـ۱۹

لوله حاوی یک مایع (معمولاً جیوه) با چگالی ρ است. اختلاف فشار هوا و فشار گاز داخل محفظه باعث می‌شود که مایع از دو طرف لوله U شکل در یک سطح قرار نگیرند. از اختلاف سطح آنها می‌توان این اختلاف فشار را به دست آورد. فرض کنید P_0 فشار هوا و P فشار گاز داخل محفظه است. چون فشار مایع در نقاط A و B یکسان است (چرا؟)، اختلاف فشار P_0 و P برابر با فشار حاصل از ارتفاع h از مایع است، یعنی :

$$P - P_0 = \rho g h \qquad (۵_۷)$$

با اندازه‌گیری h می‌توان مقدار ρgh را محاسبه کرد. این کمیت، که برابر اختلاف فشار گاز درون محفظه و فشار هوا است، **فشار پیمانه‌ای** نامیده می‌شود. در اندازه‌گیری فشار خون و یا فشار هوای داخل لاستیک‌های اتومبیل فشار پیمانه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. (به‌عنوان مثال، فشار پیمانه‌ای هوای داخل تایر در لاستیک اتومبیل در حدود ۲۲۰kPa است). برای به‌دست آوردن فشار کل باید فشار پیمانه‌ای را با فشار هوا جمع کرد. (یعنی فشار کل هوای داخل تایر در حدود ۳۲۰kPa است.)

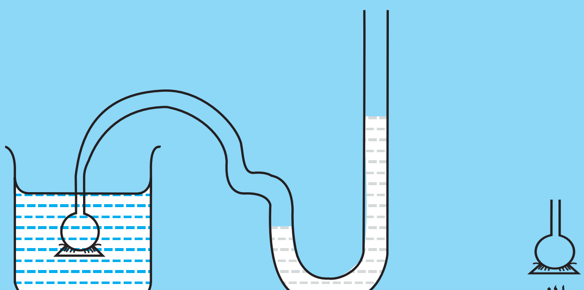
فعالیت ۵ ــ ۲۴

با استفاده از یک سرنگ و یک لوله باریک قابل‌خم‌کردن مانند نی‌نوشابه یا شیلنگ کولر و… یک فشارسنج بسازید. فشار گاز داخل سرنگ را با استفاده از آبی که داخل لوله می‌ریزید اندازه‌گیری کنید.

آزمایش ۵ ــ ۶

وسایل لازم: فشارسنج، قیف، پوسته قابل ارتجاع

به انتهای یک قیف یک پوسته قابل‌ارتجاع (مثلاً بادکنک) را مطابق شکل (۵ــ۲۰ــ الف) وصل کنید و انتهای دیگر قیف را مطابق شکل (۵ــ۲۰ــ ب) به فشارسنج متصل کنید.



شکل ۵ــ۲۰

با وارد کردن قیف در داخل مایع می‌توانید فشار مایع را اندازه‌گیری کنید. با انجام این آزمایش : ۱ــ چگونگی بستگی فشار به عمق ۲ــ یکسان بودن فشار در نقاط هم‌عمق را تحقیق کنید. هم‌چنین، تحقیق کنید که آیا فشار در هر نقطه در مایع به جهت‌گیری پوسته در آن نقطه بستگی دارد یا خیر؟

از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که اندازهٔ نیروی وارد بر پوسته به جهت‌گیری پوسته بستگی ندارد و فقط به فشار در مکانی که پوسته در آن قرار دارد وابسته است. یعنی، در یک عمق معین اندازهٔ نیروی وارد بر پوسته در حالتی که در وضعیت افقی قرار دارد و درحالتی که به‌صورت قائم قرارگرفته است یکسان است.

تمرین‌های فصل پنجم

۱ــ در هنگام پاک کردن تخته سیاه ذرات گچ به‌طور نامنظم به‌اطراف حرکت می‌کنند. حرکت نامنظم آن‌ها را چگونه می‌توان توجیه کرد؟

۲ــ جرم نفت موجود در یک بشکه پر نفت خانگی را تخمین بزنید.

۳ــ حجم یک گرم طلا چند سانتی‌متر مکعب است؟

۴ــ تخمین بزنید که هوای داخل کلاس شما چند کیلوگرم است. اگر تمام آن را مایع کنیم چه حجمی را اشغال می‌کند؟ (از جدول ۵ ــ ۱ استفاده کنید.)

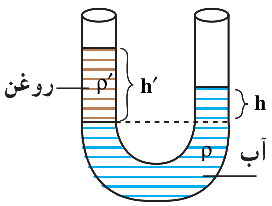
۵ــ قطعه‌ای به شما داده شده و ادعا می‌شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می‌توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟

۶ــ چرا پونز راحت‌تر از میخ به داخل چوب فرو می‌رود؟

۷ــ فشاری را که در هنگام ایستادن در روی زمین ایجاد می‌کنید برآورد کنید.

۸ــ در چه عمقی از دریا فشار ده برابر فشار جو در سطح دریا است (چگالی آب دریا را $۱۱۵۰ kg/m^۳$ فرض کنید)؟

۹ــ در یک ظرف لوله U شکل حاوی آب مطابق شکل مقابل مقداری روغن ریخته‌ایم.



شکل ۵ــ۲۱

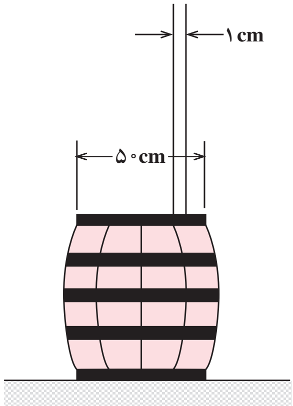
الف ــ نشان دهید :

$$\frac{h'}{h}=\frac{\rho}{\rho'} \qquad (۵ــ۷)$$

که در آن ρ' چگالی روغن و ρ چگالی آب و h' ارتفاع ستون روغن است.

ب ــ چگونه می‌توان با این روش چگالی یک مایع نامعلوم را تعیین کرد؟ این آزمایش را انجام دهید و درستی رابطه بالا را تحقیق کنید.

۱۰ــ آزمایش شکل (۵ــ۲۲) را پاسکال برای اولین بار انجام داد. لوله باریک و بلندی را به‌بشکه‌ای وصل کرد و در داخل لوله آب ریخت. هنگامی که ارتفاع آب در لوله به ۱۵/۳ متر رسید، درپوش بشکه دررفت. اگر قطر درپوش ۵۰cm باشد، در این لحظه چه نیرویی از طرف آب به درپوش وارد شده است؟ قطر داخلی لوله۱cm است.



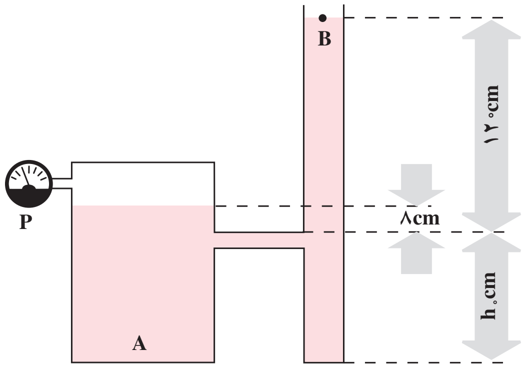
شکل ۵ ــ۲۲

۱۱ــ فشار هوا را در محلی که زندگی می‌کنید برآورد کنید.

۱۲ــ اگر در مخزن شکل (۵ــ۲۳) آب بریزیم، وقتی سطح مایع از h_0 بالاتر می‌رود، هوا در داخل ظرف A به دام می‌افتد. اگر سطح مایع در ظرف A، ۸cm بالاتر از h_0 و در B، ۱۲۰cm بالاتر از h_0 باشد؛

الف ــ فشارسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟ (این فشارسنج فشار پیمانه‌ای را اندازه‌گیری می‌کند.)

ب ــ فشار کل گاز محبوس چه‌قدر است؟

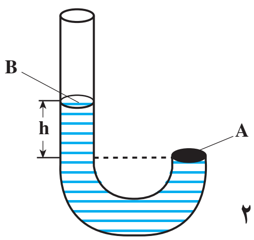


شکل ۵ــ۲۳

۱۳ــ در شکل (۵ــ۲۴) مایعی به چگالی ρ در داخل لوله U شکل ریخته شده و انتهای سمت‌راست آن با درپوشی بسته شده است. مایع تمام بخش سمت راست لوله را اشغال کرده است. اختلاف ارتفاع در نقاط A و B برابر h است.

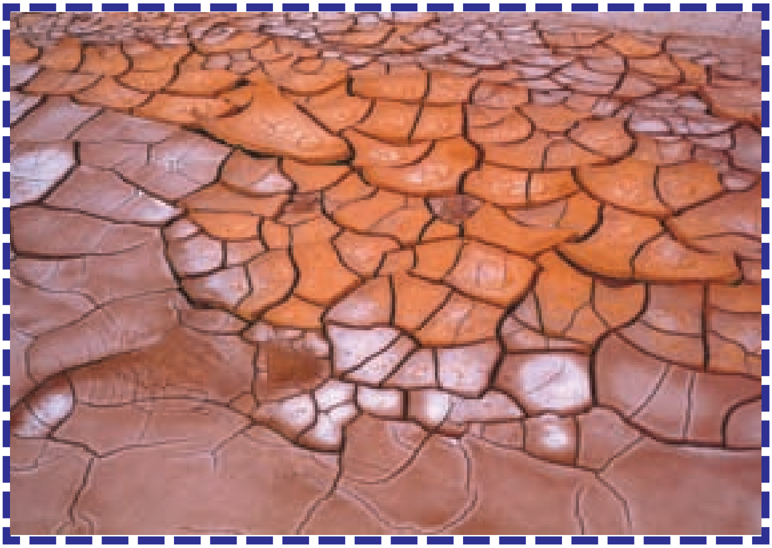
الف ــ فشار مایع در A چقدر است؟

ب ــ اگر شعاع لوله r باشد، چه نیرویی از طرف مایع به درپوش A وارد می‌شود؟



شکل ۵ــ۲۴

۶



کویر لوت

کویر هم بسیار زیباست هر چند در آن باران به ندرت می‌بارد! پس از بارش باران و تابش دوبارهٔ خورشید بر پهنهٔ کویر، جلوه‌های زیبایی در آن پدید می‌آید. تبخیر آب موجود در لایهٔ سطحی خاک کویر، موجب کاهش حجم و ایجاد ترک‌های بی‌شکل و بدیعی در آن می‌شود.

فصل

۶

گرما و قانون گازها

چرا وقتی قطعهٔ یخی را درون یک لیوان آب می‌اندازیم، آب سرد می‌شود؟ چه چیز باعث خشک‌شدن لباس‌های مرطوب روی بند می‌شود؟ عامل اصلی ایجاد باد و جریان هوا چیست؟

پاسخ این سؤال‌ها و بسیاری از سؤال‌های مشابه را می‌توان با بررسی گرما و اثرهای آن به‌دست آورد. شما در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با مفهوم‌های فیزیکی دما و گرما آشنا شدید. در این فصل ضمن یادآوری آن مفهوم‌ها به بررسی روش گرماسنجی و اندازه‌گیری گرمای ویژه، تغییر حالت مواد و گرمای نهان ذوب و تبخیر می‌پردازیم. علاوه بر این اثر تغییر دما بر طول و حجم جامدها، مایع‌ها و گازها را بررسی می‌کنیم و راه‌های انتقال گرما را مورد بحث قرار می‌دهیم و سرانجام قانون گازها را شرح می‌دهیم.

۶ــ۱ــ دما، انرژی درونی و گرما

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که دما معیاری است که میزان سردی و گرمی جسم‌ها را مشخص می‌کند.

فعالیت ۶ــ۱

در فصل ۱ گفتیم برای آن‌که تعریف یک کمیت فیزیکی کامل شود، باید **یکای** آن و روش و **ابزار اندازه‌گیری** آن مشخص شود.

دما را به عنوان یک کمیت فیزیکی تعریف کنید، یعنی برای آن یک روش اندازه‌گیری بنویسید، یکای آن‌را مشخص کنید و ابزار اندازه‌گیری آن‌را توضیح دهید. (برای این کار می‌توانید از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه و یا هر کتاب فیزیک مناسب دیگری استفاده کنید.) عیب‌ها و مزیت‌های روش و ابزار اندازه‌گیری‌ای را که معرفی کرده‌اید بنویسید.

تعریف دما به صورتی که با انجام این فعالیت ارائه کرده‌اید، یک **تعریف عملیاتی** نامیده می‌شود.

یکای دما: همان‌گونه که با انجام فعالیت بالا، بیان کرده‌اید، یکای دما درجهٔ سلسیوس[1] است، که با نماد $^\circ C$ نمایش داده می‌شود. دما بر حسب درجهٔ سلسیوس را معمولاً با θ نشان می‌دهند.

مقیاس دمای مطلق (یا کلوین): در SI به جای سلسیوس، یکای دیگری به نام کلوین[2] را به‌کار می‌برند که با نماد K نمایش داده می‌شود. دما بر حسب کلوین را معمولاً با T نشان می‌دهند. صفر کلوین تقریباً برابر $-۲۷۳^\circ C$ است[3]. به این ترتیب برای تبدیل دما از مقیاس سلسیوس به کلوین باید مقدار دما بر حسب سلسیوس را با ۲۷۳ جمع کرد، یعنی:

$$T(K) = \theta(^\circ C) + ۲۷۳ \qquad (۶_۱)$$

تمرین ۶ـ۱

دمای ذوب یخ، $۰^\circ C$ و دمای جوش آب، $۱۰۰^\circ C$، و دمای بدن انسان سالم، $۳۷^\circ C$، هر یک برابر چند کلوین است؟

مثال ۶ـ۱

نشان دهید که اختلاف بین دو دما در هر دو مقیاس سلسیوس و کلوین با هم برابر است.

حل: داریم

$$\Delta T(K) = T_۲(K) - T_۱(K)$$
$$= [\theta_۲(^\circ C) + ۲۷۳] - [\theta_۱(^\circ C) + ۲۷۳]$$
$$= \theta_۲(^\circ C) - \theta_۱(^\circ C)$$

در نتیجه:

$$\Delta T(K) = \Delta\theta(^\circ C) \qquad (۶_۲)$$

۱ــ درجه‌بندی سلسیوس را نخستین بار منجم سوئدی آندِرس سلسیوس در سال ۱۱۲۱ هجری شمسی به‌کار برد.

۲ــ این مقیاس دما را ویلیام تامسون (لرد کلوین)، فیزیک و ریاضی‌دان اسکاتلندی که در سال‌های ۱۲۰۳ تا ۱۲۸۶ (از ۱۸۲۴ تا ۱۹۰۷ میلادی) هجری شمسی می‌زیست طرح‌ریزی کرد.

۳ــ صفر کلوین به‌طور دقیق‌تر برابر $-۲۷۳/۱۵^\circ C$ است، ولی برای محاسبه‌های این کتاب همان مقدار تقریبی $-۲۷۳^\circ C$ مناسب است.

دماسنج جیوه‌ای (و یا الکلی): در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با دماسنج جیوه‌ای و الکلی (شکل ۶ـ۱) و هم‌چنین طرز مدرج کردن آن‌ها آشنا شدید. برای اندازه‌گیری دمای یک جسم باید دماسنج را در تماس با آن جسم قرار دهیم به‌گونه‌ای که مخزن دماسنج در تماس کامل با آن باشد. مدتی (حدود دو الی سه دقیقه) صبر می‌کنیم تا ارتفاع مایع در لولهٔ دماسنج دیگر تغییر نکند. عددی را که در مقابل سطح مایع در لوله ثبت شده است می‌خوانیم. این عدد دمای آن جسم را نشان می‌دهد.



شکل ۶ـ۱ـ دماسنج جیوه‌ای

تعبیر مولکولی دما: آنچه تاکنون دربارهٔ دما گفته‌ایم به تعریف عملیاتی آن مربوط می‌شود. در مبحث‌های تخصصی فیزیک تعبیری برای دما وجود دارد که می‌توانیم آن‌را با مراجعه به تعریف انرژی درونی دریابیم. در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که :

الف ـ انرژی درونی هر جسم، مجموع انرژی‌های مولکول‌های تشکیل‌دهندهٔ آن از جمله انرژی جنبشی این ذره‌هاست.

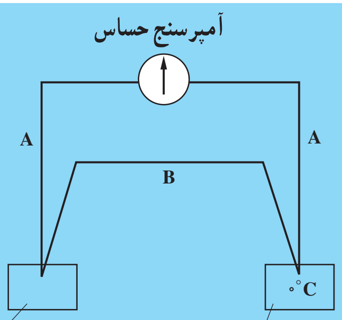
ب ـ افزایش انرژی درونی هر جسم غالباً به صورت افزایش دمای آن جسم ظاهر می‌شود. از این‌جا تعبیر مولکولی زیر برای دما ارائه می‌شود. **دمای هر جسم متناسب است با انرژی جنبشی متوسط مولکول‌های سازندهٔ آن.**

آزمایش ۶ـ۱

وسایل لازم: دو تکه سیم فلزی غیر هم‌جنس A و B (برای مثال سیم A مسی و سیم B آهنی)، یک آمپرسنج حساس (میلی آمپرسنج یا میکروآمپرسنج)، سه پایه، شعله پخش کن، چراغ گازی یا الکلی، یک ظرف شیشه‌ای نسوز برای گرم کردن آب، یک سطل کوچک برای یخ، مقداری یخ، یک دماسنج جیوه‌ای

۱ـ با سیم‌های فلزی و آمپرسنج مداری مطابق مدار شکل (۶ـ۴) ببندید.

۲ـ در ظرف شیشه‌ای کمی بیش از نصف آب بریزید و آن‌را روی سه پایه بالای شعله قرار دهید و یک دماسنج درون آن قرار دهید، به‌طوری که هر وقت لازم باشد بتوانید دمای آب گرم را اندازه بگیرید.



شکل ۶ــ۲

۳ــ سطل را از یخ در حال ذوب پر کنید. دمای یخ در حال ذوب ثابت است. این دما در فشار یک اتمسفر برابر $0^\circ C$ است.

۴ــ یکی از دو محل اتصال دو فلز را درون یخ در حال ذوب که دمای آن مشخص و ثابت است فرو ببرید.

۵ــ اتصال دیگر را درون ظرف آب گرم که دمای آن‌را توسط دماسنج درون آب اندازه گرفته‌اید قرار دهید. با این کار مشاهده خواهید کرد که آمپرسنج عبور جریانی را نشان می‌دهد.

۶ــ این آزمایش را چند بار تکرار کنید، هر بار آب گرم را در دمای بالاتری به‌کار برید و شدت جریان حاصل را اندازه بگیرید.

۷ــ یافته‌های خود را در جدولی وارد کنید.

با انجام این آزمایش درمی‌یابید که هرچه اختلاف دمای دو اتصال بیش‌تر باشد، شدت جریان در مدار بیش‌تر می‌شود، اگر آزمایش را چندین بار و برای اختلاف دماهای متفاوت تکرار کنید، می‌توانید شدت جریان مربوط به هر اختلاف دمایی را مشخص کنید. حتی می‌شود آمپرسنج را به جای شدت جریان برحسب اختلاف دما مدرج کرد و به این ترتیب یک دماسنج ساخت.

این نوع دماسنج را دماسنج **ترموکوپل** می‌نامند. دماسنج‌های ترموکوپل برتری‌هایی نسبت به دماسنج‌های دیگر دارند که برخی از آن‌ها در زیر آمده است.

ــ کوچک بودن اتصال سیم‌ها باعث می‌شود که اتصال به سرعت به تغییر دما پاسخ دهد و این دقت اندازه‌گیری را بالا می‌برد.

ــ خروجی این دماسنج، یک علامت الکتریکی (یک جریان) است، به عبارت دیگر، در این دماسنج، تغییر دمای مورد اندازه‌گیری باعث تغییر جریان الکتریکی می‌شود و این تغییر جریان می‌تواند

مستقیماً یک دستگاه هشداردهندهٔ تغییرات ناگهانی دما را به‌کار اندازد و یا برای ثبت‌کردن تغییرات پیوستهٔ دما به‌کار رود.

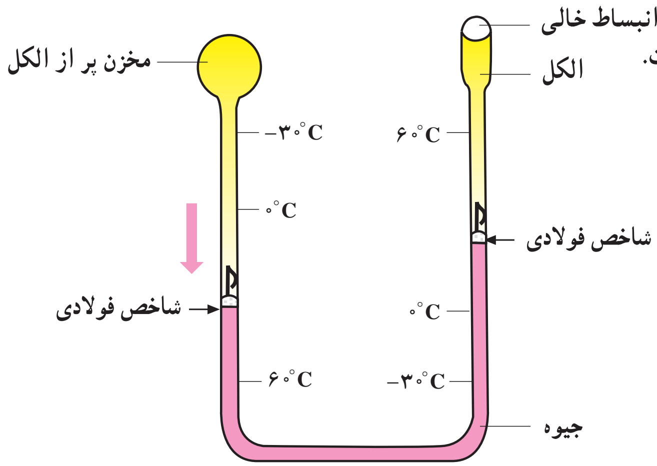
ــ این دماسنج‌ها نسبت به اختلاف دماهای بسیار کوچک، حتی به کوچکی $۰/۰۰۱^\circ C$ نیز حساس‌اند.

ــ دماسنج‌های ترموکوپل را می‌توان برای اندازه‌گیری دماهای بالا تا حدود $۱۵۰۰^\circ C$ به‌کار برد. برای این کار باید سیم‌های فلزی A و B را از جنس‌های خاصی انتخاب کرد که در آن دماها ذوب نشوند.

مطالعه آزاد

دماسنج فرینه: این دماسنج نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی است که بیشینه و کمینهٔ دما را در مدت یک شبانه‌روز نشان می‌دهد. ویژگی‌هـای این دماسنج مطابق شکل ۶ــ۳ عبارتند از :

الف ــ یک شاخص فولادی که روی سطح جیوه در هر طرف لولهٔ U شکل شناور است.



شکل ۶ــ۳

ب ــ هنگامی‌که دما بالا می‌رود، به سبب انبساط الکل (در لولهٔ سمت چپ شکل)، جیوه در لولهٔ سمت راست به بالا رانده می‌شود و شاخص فولادی لولهٔ سمت راست را با خود بالا می‌برد. در این مرحله سطح الکل در لولهٔ سمت راست نیز بالا می‌رود.

پ ــ در این هنگام محل تماس شاخص لولهٔ سمت راست با جیوه، بالاترین دما، یا دمای بیشینه‌ای را که هوا به آن رسیده است نشان می‌دهد. اگر سطح جیوه در لولهٔ راست پایین بیاید، شاخص فولادی همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می‌ایستد.

ت ــ هنگامی که الکل به علت کاهش دما، منقبض می‌شود، جیوه از طرف چپ لولهٔ U شکل بالا می‌رود و شاخص فولادی دیگر را در این طرف لوله بالا می‌راند. محل تماس شاخص فولادی با جیوه پایین‌ترین دما یا دمای کمینه را نشان می‌دهد. محل این شاخص نیز با گرم‌تر شدن هوا دیگر تغییر نمی‌کند.

ث ــ با استفاده از آهنربا، این دو شاخص در پایان ۲۴ ساعت شبانه‌روز به سطح جیوه برگردانده می‌شوند تا برای روز بعد آماده باشند.

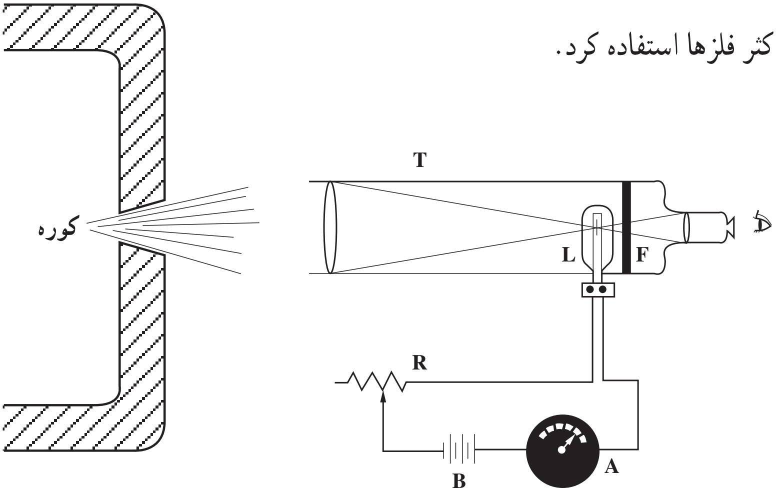
مطالعه آزاد

تَف‌سنج نوری: برای اندازه‌گیری دماهایی که بیش‌تر از گسترهٔ دماسنج ترموکوپل قرار دارند، از وسیله‌ای به نام تَف‌سنج نوری استفاده می‌شود.

همان‌طورکه در شکل ۶ــ۴ دیده می‌شود این وسیله از یک تلسکوپ T، که در لولهٔ آن یک صافی شیشه‌ای F به رنگ قرمز و یک لامپ کوچک L تعبیه شده، تشکیل شده است. اگر تف‌سنج به طرف کوره گرفته شود، شخصی که به داخل تلسکوپ نگاه می‌کند، رشته تیرهٔ لامپ را بر روی زمینهٔ روشن کوره، مشاهده می‌کند. لامپ به باتری B و مقاومت متغیر (رئوستای) R وصل است. با حرکت دادن پیچ رئوستا و کاهش مقاومت آن می‌توان جریان عبوری از مدار را افزایش و در نتیجه روشنایی لامپ را زیاد کرد. مقاومت رئوستا را آن‌قدر کم می‌کنیم تا روشنایی لامپ درست برابر روشنایی زمینه شود.

با استفاده از دستگاهی که قبلاً در دماهای معلوم درجه‌بندی شده، آمپرسنج A را در مدار، می‌توان درجه‌بندی کرد تا مستقیماً دمای مجهول را اندازه بگیرد. در این روش چون لازم نیست که هیچ قسمتی از دستگاه با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، تماس یابد، می‌توان از آن برای اندازه‌گیری دماهای بالاتر از نقاط ذوب

اکثر فلزها استفاده کرد.



شکل ۶ــ۴ــ قسمت‌های اصلی یک تَف‌سنج نوری

گرما و تعادل (ترازمندی) گرمایی: در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که گرما مقدار انرژی‌ای است که به دلیل اختلاف دما، بین یک جسم و جسم دیگری که با آن در تماس است مبادله می‌شود. با توجه به قانون پایستگی انرژی، انرژی‌ای که جسم با دمای بالاتر از دست می‌دهد، برابر انرژی‌ای است که جسم با دمای پایین‌تر می‌گیرد. این مبادلهٔ انرژی تا زمانی که دمای دو جسم یکی شود ادامه می‌یابد.

به این ترتیب آیا اگر دو جسم هم‌دما در تماس با یکدیگر قرار گیرند، گرمایی بین آن‌ها مبادله می‌شود؟ روشن است که گرمای خالصی مبادله نمی‌شود. به عبارت کامل‌تر گرمایی که جسم اول به جسم دوم می‌دهد درست برابر گرمایی است که جسم دوم به جسم اول می‌دهد، پس به‌طور خالص گرمایی مبادله نشده است.

در این وضعیت یعنی وقتی گرمایی بین دو جسم مبادله نشود می‌گوییم دو جسم با هم در تعادل گرمایی‌اند و دمای مشترک را **دمای تعادل** می‌نامیم.

برای مثال اگر یک قطعه فلز داغ را در یک ظرف آب سرد بیندازیم، گرما از قطعه فلزی که دمایش بالاتر است به آب که دمایش پایین‌تر است، شارش می‌کند. این شارش گرما تا زمانی ادامه می‌یابد که قطعهٔ فلز و آب هم‌دما شوند و به دمای تعادل برسند.

تغییر دما ــ گرمای ویژه: در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه مقدار گرمای لازم برای ایجاد یک تغییر معین در دما را محاسبه کردیم. دیدیم که برای ایجاد یک تغییر معین در دمای جسم‌های مختلف به مقدارهای متفاوت گرما نیاز است. از آن‌جا گرمای ویژه هر جسم را که با نماد c نمایش داده

می‌شود به صورت زیر تعریف کردیم :

گرمای ویژهٔ هر جسم مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجهٔ سلسیوس (یا یک کلوین) افزایش یابد.

به این ترتیب گرمای (Q) لازم برای ایجاد تغییر ΔT یا $\Delta\theta$ در دمای m کیلوگرم از یک جسم برابر است با :

$$Q = mc\Delta\theta = mc(\theta_2 - \theta_1) \qquad (۶_۳)$$

و یا

$$Q = mc\Delta T = mc(T_2 - T_1) \qquad (۶_۴)$$

در این رابطه‌ها Q (گرما) بر حسب ژول، m (جرم) بر حسب کیلوگرم، $\Delta\theta$ (تغییر دما) برحسب درجهٔ سلسیوس و یا ΔT بر حسب کلوین است. یکای c با استفاده از رابطه‌های (۶ــ۳) و (۶ــ۴) برابر است با ژول بر کیلوگرم بر درجهٔ سلسیوس یا ژول بر کیلوگرم بر کلوین. گرمای ویژهٔ برخی از مواد در جدول (۶ــ۱) داده شده است.

جدول ۶ــ۱ ــ گرمای ویژه برحسب ژول بر کیلوگرم بر کلوین

ماده	گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه
آب	۴۲۰۰	گرانیت	۸۲۰
آب دریا	۳۹۰۰	مس	۳۸۰
یخ	۲۱۰۰	سرب	۱۲۶
اتانول	۲۵۰۰	آلومینیوم	۹۰۰
روغن پارافین	۲۱۰۰	سدیم	۱۲۴۰
هیدروژن	۱۴۳۰۰	جیوه	۱۵۰
هوا	۹۹۳	آهن	۳۹۰
هلیوم	۵۲۴۰	فولاد	۴۲۰
اکسیژن	۹۳۰	سنگ مرمر	۹۰۰

مثال ۶ــ۲

یک سماور حاوی ۲kg آب ۲۰°C است. گرمای لازم برای افزایش دمای آب

تا $100^\circ C$ را حساب کنید.

حل: افزایش دما برابر است با :

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 100 - 20 = 80^\circ C$$

گرمای ویژهٔ آب با استفاده از جدول (۶ــ۱) برابر است با $c = 4200 J/kg^\circ C$

در نتیجه با استفاده از رابطهٔ (۶ــ۳) داریم :

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1) = 2 \times 4200 \times 80 = 672000 \ J$$
$$\simeq 0/67 \ MJ$$

اگر دمای جسم در اثر مبادلهٔ گرما بالا رود، $\theta_2 > \theta_1$ و $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 > 0$ و رابطهٔ (۶ــ۳) مقدار مثبتی برای Q به‌دست می‌دهد، $(Q > 0)$.

در حالی که اگر دمای جسم با مبادلهٔ گرما کاهش یابد، داریم $\theta_2 < \theta_1$ ، آن‌گاه $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 < 0$ ، و مقداری که برای Q به‌دست می‌آید منفی خواهد بود، $(Q < 0)$.

پس می‌توان گفت که علامت Q در رابطهٔ (۶ــ۳) مشخص می‌کند که جسم در یک فرآیند تبادل انرژی، گرما گرفته است $(Q > 0)$ یا گرما داده است $(Q < 0)$. از این پس در این کتاب همواره گرمای گرفته شده را با علامت مثبت و گرمای از دست داده شده را با علامت منفی منظور می‌کنیم.

مثال ۶ــ۳

یک قطعهٔ ۱۰۰ گرمی از مس را که دمای آن $90^\circ C$ است در یک ظرف آب سرد می‌اندازیم، دمای تعادل به $24^\circ C$ می‌رسد. گرمای مبادله شده را حساب کنید.

حل: داریم $m = 100 g = 0/1 kg$ ، $\theta_1 = 90^\circ C$ ، $\theta_2 = 24^\circ C$ و گرمای ویژه مس با استفاده از جدول (۶ــ۱) برابر است با : $c = 380 J/kg^\circ C$

در نتیجه از رابطهٔ (۶ــ۳) برای مس، به‌دست می‌آوریم :

$$Q = mc\Delta\theta = 0/1 \times 380 \times (24 - 90)$$
$$= 38 \times (-66) = -2508 J \simeq -2/5 kJ$$

علامت منفی Q نشان می‌دهد که مس گرما از دست داده است.

مثال ۶ـ۴

فرستنده‌ها و گیرنده‌های الکترونیکی درون ماهواره‌ها نیز مانند فرستنده‌ها و گیرنده‌های زمینی دارای یک بازده مشخص هستند و تنها بخشی از انرژی دریافتی را به انرژی مورد نظر تبدیل می‌کنند. فرض کنید انرژی‌ای که چنین دستگاهی از سلول‌های خورشیدی متصل به ماهواره دریافت می‌کند ۱۰ W و انرژی‌ای که فرستنده‌ی امواج به سمت زمین گسیل می‌کنند ۳ W باشد. همچنین فرض کنید جنس این دستگاه از سیلیکون و جرم آن ۰/۵ کیلوگرم باشد. این دستگاه در مدت ۱۰۰ ثانیه چقدر گرم می‌شود؟ گرمای ویژه سیلیکون $700 J/kg.^\circ C$ است.

حل: می‌دانیم $P = Q/t$، و از طرفی $Q = mc\Delta\theta$ است. از تلفیق این دو رابطه به رابطهٔ روبرو می‌رسیم

$$Pt = mc\Delta\theta$$

و از آن جا برای افزایش $\Delta\theta$ دما خواهیم داشت:

$$\Delta\theta = \frac{Pt}{mc}$$

حال با گذاشتن مقادیر، $\Delta\theta$ را محاسبه می کنیم:

$$\Delta\theta = \frac{(7 J/s)(100 s)}{(0/5 kg)(700 J/kg.^\circ C)} = 2^\circ C$$

دمای تعادل: دیدیم که اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند، پس از مدتی هم‌دما می‌شوند. دمای تعادل را می‌توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی محاسبه کرد. این محاسبه در مثال ۶ـ۵ انجام شده است.

مثال ۶ ـ ۵

یک قطعهٔ ۱۴۰ گرمی آلومینیوم را که دمای آن $80^\circ C$ است در ظرف عایقی که حاوی ۲۵۰ گرم آب در دمای $22^\circ C$ است می‌اندازیم، دمای تعادل را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم‌پوشی کنید.

حل: در این مثال دو جسم داریم که تغییر دما داده‌اند، برای سادگی مشخصه‌های آن‌ها را با زیرنویس‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهیم، یعنی:

جرم آلومینیوم $= m_1 = 140 g = 0/14 kg$

دمای اولیهٔ آلومینیوم $= \theta_1 = 80^\circ C$

و از جدول (۶ـ۱) گرمای ویژهٔ آلومینیوم $= c_1 = 900 J/kg^\circ C$

و همین‌طور برای آب داریم :

$$\text{جرم آب} = m_{۲} = ۲۵۰ g = ۰/۲۵ kg$$

$$\text{دمای اولیهٔ آب} = \theta_{۲} = ۲۲^{\circ}C$$

$$\text{گرمای ویژهٔ آب} = c_{۲} = ۴۲۰۰ J/kg^{\circ}C$$

و دمای تعادل که دمای نهایی مشترک آب و آلومینیوم است را با θ نمایش می‌دهیم. با استفاده از رابطهٔ (۶ــ۳) مقدار گرمایی که آلومینیوم از دست می‌دهد تا به‌دمای تعادل θ برسد برابر است با :

$$Q_{۱} = m_{۱}c_{۱}(\theta - \theta_{۱}) = m_{۱}c_{۱}\Delta\theta_{۱}$$

و مقدار گرمایی که آب می‌گیرد تا به دمای تعادل برسد برابر است با :

$$Q_{۲} = m_{۲}c_{۲}(\theta - \theta_{۲}) = m_{۲}c_{۲}\Delta\theta_{۲}$$

از قانون پایستگی انرژی داریم :

$$Q_{۱} + Q_{۲} = ۰$$

زیرا مجموعهٔ آلومینیوم و آب نه به بیرون گرما داده و نه از بیرون گرما گرفته است. در نتیجه داریم :

$$m_{۱}c_{۱}(\theta - \theta_{۱}) + m_{۲}c_{۲}(\theta - \theta_{۲}) = ۰$$

$$۰/۱۴ \times ۹۰۰ \times (\theta - ۸۰) + ۰/۲۵ \times ۴۲۰۰ \times (\theta - ۲۲) = ۰$$

پس از محاسبه حاصل می‌شود :

$$\theta \simeq ۲۸^{\circ}C$$

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه چند جسم متفاوت با گرمای ویژهٔ $c_{۱}$ ، $c_{۲}$ ، $c_{۳}$ ، ... به‌جرم‌های $m_{۱}$ ، $m_{۲}$ ، $m_{۳}$ ، ... با دماهای اولیهٔ $\theta_{۱}$ ، $\theta_{۲}$ ، $\theta_{۳}$ ، ... را در تماس کامل با یک‌دیگر قرار دهیم برای یافتن دمای تعادل θ ، می‌توانیم حاصل جمع گرماهایی را که هریک مبادله کرده‌اند، یعنی $Q_{۱}$ ، $Q_{۲}$ ، $Q_{۳}$ ، ... را برابر صفر قرار دهیم، یعنی :

$$Q_{۱} + Q_{۲} + Q_{۳} + \cdots = ۰ \qquad (۶ــ۵)$$

و از آن‌جا معادله‌ای به‌دست آوریم که دمای تعادل را از آن محاسبه کنیم. به عبارت دیگر :

$$m_{۱}c_{۱}(\theta - \theta_{۱}) + m_{۲}c_{۲}(\theta - \theta_{۲}) + m_{۳}c_{۳}(\theta - \theta_{۳}) + \cdots = ۰ \qquad (۶ــ۶)$$

از معادلهٔ (۶ــ۶) می‌توانیم برای یافتن گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم. مثال بعد نحوهٔ محاسبه را نشان می‌دهد.

مثال ۶ـ۶

در ظرف عایقی حاوی ۵۰۰ گرم آب $۲۰^\circ C$، یک قطعه مس ۱۰۰ گرمی به دمای $۵۰^\circ C$ و یک قطعه فلز دیگری به جرم ۱۵۰ گرم و به دمای $۶۲/۵^\circ C$ که گرمای ویژهٔ آن‌را نمی‌دانیم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. اگر دمای تعادل $۲۲^\circ C$ باشد، گرمای ویژهٔ فلز را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم‌پوشی کنید.

حل: با استفاده از داده‌های این مثال و جدول (۶ــ۱) داریم :

$$\text{جرم آب} = m_۱ = ۵۰۰g = ۰/۵kg \ , \ \theta_۱ = ۲۰^\circ C \ , \ c_۱ = ۴۲۰۰ J/kg^\circ C$$

$$\text{جرم مس} = m_۲ = ۱۰۰g = ۰/۱kg \ , \ \theta_۲ = ۵۰^\circ C \ , \ c_۲ = ۳۸۰ J/kg^\circ C$$

$$\text{جرم فلز} = m_۳ = ۱۵۰g = ۰/۱۵kg \ , \ \theta_۳ = ۶۲/۵^\circ C \ , \ c_۳ = ?$$

$$\text{دمای تعادل} = \theta = ۲۲^\circ C$$

با درج این داده‌ها در رابطهٔ (۶ــ۶) داریم :

$$۰/۵ \times ۴۲۰۰ \times (۲۲ - ۲۰) + ۰/۱ \times ۳۸۰ (۲۲ - ۵۰) +$$
$$۰/۱۵ \times c_۳ \times (۲۲ - ۶۲/۵) = ۰$$

پس از محاسبه حاصل می‌شود :

$$c_۳ \simeq ۵۱۶ J/kg^\circ C$$

تمرین ۶ـ۲

جسمی به جرم ۲۵۰ گرم در دمای $۳^\circ C$ را به درون ظرف عایقی حاوی ۵۰۰ گرم آب $۲۵^\circ C$ می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. اگر دمای تعادل $۲۱^\circ C$ باشد، گرمای ویژهٔ جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین آب و ظرف چشم‌پوشی کنید.

آزمایش ۶ـ۲

گرماسنجی ــ تعیین ظرفیت گرمایی گرماسنج

وسایل لازم: ترازو، یک ظرف آب، چراغ الکلی یا گازی، سه پایه و شعله‌پخش‌کن، ظرف شیشه‌ای نسوز برای گرم کردن آب، یک فلاسک (یا ظرفی که به خوبی عایق‌بندی شده باشد)، دو عدد همزن، دو عدد دماسنج جیوه‌ای، یک عدد دستگیره

آزمایش زیر را به‌طور گروهی انجام دهید.

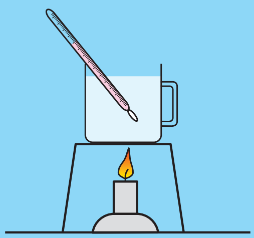
۱ــ ۰/۲ کیلوگرم آب (m_1) درون فلاسک بریزید و همزن و دماسنج را درون آن قرار دهید و صبر کنید تا آب و فلاسک و همزن به تعادل گرمایی برسند.

۲ــ در این فاصله ۰/۴ کیلوگرم آب (m_2) نیز درون ظرف شیشه‌ای نسوز بریزید.

۳ــ ظرف نسوز را مطابق شکل (۶ــ۵) روی سه پایه بالای چراغ قرار دهید.

۴ــ چراغ را روشن کنید و آب را تا دمای θ_1 گرم کنید.

۵ــ دمای آب درون فلاسک θ_1 و آب درون ظرف شیشه‌ای θ_2 را به کمک دماسنج‌هایی که در هریک از این ظرف‌ها قرار دارد اندازه بگیرید و یادداشت کنید. سپس آب گرم درون ظرف شیشه‌ای نسوز را (به کمک دستگیره) به درون فلاسک بریزید.



شکل ۶ــ۵

۶ــ آب درون فلاسک را با همزنی که درون آن است هم بزنید و دمای تعادل (θ) را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

۷ــ اگر گرمای ویژه آب را با c_w، گرمای ویژه فلاسک را با c_F، گرمای ویژه همزن را با c_M، گرمای ویژه دماسنج را با c_T، جرم فلاسک را با M، جرم همزن را با M' و جرم دماسنج را با M' نمایش دهیم با استفاده از معادلهٔ (۶ــ۶) خواهیم داشت:

$$m_1c_w(\theta-\theta_1)+m_2c_w(\theta-\theta_2)+Mc_F(\theta-\theta_1)+M'c_M(\theta-\theta_1)+M'c_T(\theta-\theta_1)=0$$

دقت کنید که دمای اولیه فلاسک و همزن و دماسنج با دمای اولیهٔ آب درون فلاسک برابر است و همین‌طور هم دمای تعادل برای همهٔ آن‌ها یکسان است.

۸ــ از رابطهٔ بالا داریم:

$$[Mc_F+M'c_M+M'c_T](\theta-\theta_1)+m_1c_w(\theta-\theta_1)+m_2c_w(\theta-\theta_2)=0$$

۹ــ در این رابطه تنها عبارت داخل کروشه مجهول است، مقدار آن‌را به کمک اعدادی که در آزمایش به‌دست آورده‌اید محاسبه کنید. این کمیت را **ظرفیت گرمایی** مجموعهٔ فلاسک و همزن و دماسنج درون آن می‌نامند و آن‌را با نماد A نمایش می‌دهند.

مجموعهٔ فلاسک و همزن و دماسنج درون آن را معمولاً گرماسنج می‌نامند. با انجام این آزمایش شما ظرفیت گرمایی گرماسنج را که به صورت زیر تعریف می‌شود اندازه گرفته‌اید.

$$A = M c_F + M' c_M + M'' c_T =$$ ظرفیت گرمایی گرماسنج

آزمایش ۶ـ۳

تعیین گرمای ویژهٔ یک جسم

وسایل لازم: گرماسنج (فلاسک، همزن، دماسنج) با ظرفیت گرمایی معین که قبلاً اندازه گرفته‌اید، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک کلید)، یک همزن و یک دماسنج دیگر، ترازو، ظرف شیشه‌ای نسوز، چراغ الکلی یا گازی، سه پایه و شعله‌پخش‌کن، یک انبرک، دستگیره

۱ـ ۰/۲ کیلوگرم آب (m_1) درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب یکی شود.

۲ـ جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید. (m_2)

۳ـ جسم فلزی را درون ظرف شیشه‌ای نسوز قرار دهید و مقداری آب درون آن بریزید و همزن و دماسنج اضافی را نیز درون ظرف قرار دهید.

۴ـ ظرف شیشه‌ای را مطابق شکل (۶ـ۵) روی چراغ بگذارید و چراغ را روشن کنید و آب درون ظرف را به کمک همزن به هم بزنید.

۵ـ پس از چند دقیقه چراغ را خاموش کنید و همزمان دمای آب درون گرماسنج (θ_1) و دمای آب گرمی را که جسم فلزی در آن است (θ_2) به کمک دماسنج‌های مربوط اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۶ـ جسم داغ شده را توسط انبرک هرچه سریع‌تر به درون آب درون فلاسک بیندازید.

۷ـ آب درون فلاسک را با همزن به هم بزنید و دمای تعادل θ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۸ـ با استفاده از معادلهٔ (۶ـ۶) داریم:

$$A(\theta-\theta_1)+m_1 c_{\text{آب}}(\theta-\theta_1)+m_2 c_{\text{جسم}}(\theta-\theta_2)=0$$

۹ـ در این رابطه تنها $c_{\text{جسم}}$ مجهول است. مقدار آن‌را به کمک اعدادی که در آزمایش به‌دست آورده‌اید، محاسبه کنید.

فعالیت ۶ـ۲

گرمای ویژهٔ یک فلز یا مایع معلوم را اندازه بگیرید. مقداری را که به‌دست می‌آورید، با مقدار داده شده در جدول (۶ـ۱) مقایسه کنید. دلیل اختلاف بین عددی که شما به‌دست آورده‌اید و رقمی که در جدول درج شده چیست؟ موضوع را با همکلاسان خود به بحث بگذارید.

۶ـ۲ ـ حالت‌های ماده

همان‌طورکه در فصل ۵ دیدیم موادی که در اطراف ما وجود دارند در سه حالت (فاز) جامد، مایع و گاز یافت می‌شوند. برای مثال H_2O هم به حالت جامد (یخ) و هم به حالت مایع (آب) و هم به حالت گاز (بخار آب) یافت می‌شود. گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت (فاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می‌نامند. هر تغییر حالت (در فشار ثابت) در دمای ثابتی صورت می‌گیرد که آن‌را **دمای گذار** می‌نامند. تغییر حالت‌ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراهند. علاوه بر این حجم و چگالی نیز با تغییر حالت تغییر می‌کند.

فعالیت ۶ـ۳

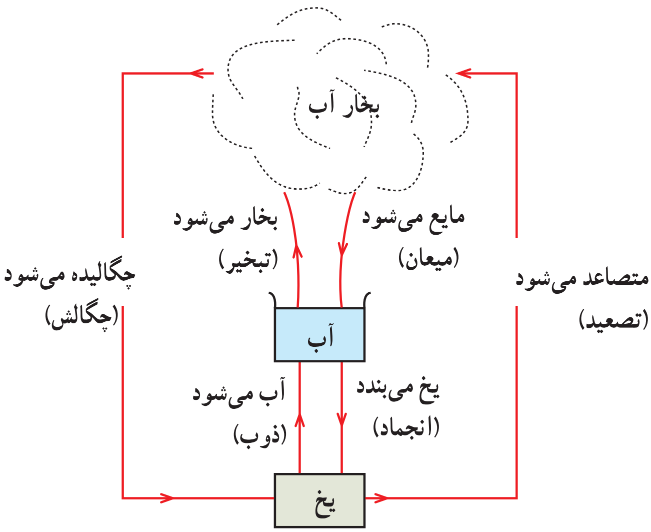
آزمایشی طراحی کنید و انجام دهید که در آن تغییر حجم آب به هنگام انجماد (یخ بستن) و یا تغییر حجم یخ به هنگام ذوب شدن (آب شدن) مشخص شود.

برای مثال در شکل (۶ـ۶) انواع تغییر حالت‌هایی که برای آب امکان‌پذیر است نشان داده شده است.

تبدیل جامد به مایع را ذوب، تبدیل مایع به بخار را تبخیر، تبدیل مایع به جامد را انجماد و تبدیل بخار به مایع را میعان می‌نامیم.

امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به‌طور مستقیم (بدون گذر از حالت مایع) صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، تصعید و تغییر حالت وارون آن یعنی از بخار به جامد چگالش نام دارد.

برای مثال نفتالین در دمای اتاق به‌طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود (تصعید). در صبح‌های بسیار سرد زمستان برفکی که روی گیاهان و یا روی شیشهٔ پنجره می‌نشیند، بخار آبی است که به‌طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است (چگالش).



شکل ۶ــ۶ــ انواع تغییر حالت‌های آب

در ادامه هریک از تغییر حالت‌ها را به‌طور جداگانه بررسی می‌کنیم.

ذوب: پیش از این دیدیم که اگر به جسم جامدی گرما بدهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای جسم به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می‌شود (دما ثابت می‌ماند) و جسم شروع به ذوب شدن می‌کند (به مایع تبدیل می‌شود). این دمای ثابت را که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد «دمای ذوب» یا «نقطهٔ ذوب» می‌نامیم.

افزایش فشار وارد بر جسم به جز در چند مورد سبب بالا رفتن نقطهٔ ذوب آن می‌شود. در بعضی از جسم‌ها مانند یخ، افزایش فشار سبب کاهش نقطهٔ ذوب می‌شود. نقطهٔ ذوب یخ در فشار یک آتمسفر برابر صفر درجهٔ سلسیوس است.

فعالیت ۶ــ۴

دربارهٔ علت دیرتر آب شدن برف روی قلهٔ کوه‌ها تحقیق کنید. نتیجهٔ تحقیق خود را به کلاس گزارش دهید.

عمل ذوب گرماگیر است. یعنی به جسم جامدی که به دمای ذوب خود رسیده باشد باید گرما بدهیم تا به مایع تبدیل شود.

گرمای نهان ذوب، گرمای نهان ویژهٔ ذوب: گرمایی که جسم جامد در نقطهٔ ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود، بلکه صرف تغییر حالت آن خواهد شد. از این‌رو به این گرما، **گرمای نهان ذوب** می‌گوییم. دادن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطهٔ ذوب خود رسیده است، آن‌را ذوب می‌کند.

گرمای نهان ویژهٔ ذوب (L_F)[1] یک جامد، برابر است با مقدار انرژی‌ای که باید به یک کیلوگرم از آن جامد در دمای نقطهٔ ذوب بدهیم تا به مایع در همان دما تبدیل شود. یکای گرمای نهان ویژه در SI ژول برکیلوگرم (J /kg) است.

بنابراین گرمای نهان ذوب m کیلوگرم جامد از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$Q = mL_F \qquad (۶_۷)$$

گرمای نهان ویژهٔ ذوب و نقطهٔ ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقدارها برای برخی از مواد در جدول (۶ــ۲) داده شده است.

جدول ۶ــ۲ــ نقطهٔ ذوب و گرمای نهان ویژهٔ ذوب برخی مواد در فشار یک آتمسفر

ماده	نقطهٔ ذوب (°C)	گرمای نهان ذوب (kJ /kg)
هیدروژن	۲۵۹ -	۵۸/۶
ازت	۲۰۹ -	۲۵/۵
اکسیژن	۲۱۸ -	۱۳/۸
جیوه	۳۹ -	۱۱/۸
یخ	۰	۳۳۴
گوگرد	۱۱۹	۳۸/۱
سرب	۳۲۷	۲۴/۵
قلع	۶۳۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸/۳
طلا	۱۰۶۳	۶۴/۵
مس	۱۰۸۳	۱۳۴

۱ــ زیرنویس F حرف اول واژهٔ انگلیسی Fusion به معنای ذوب است.

مثال ۶ـ۷

گرمای لازم برای ذوب ۱۰ گرم طلا را محاسبه کنید. فرض کنید که طلا در نقطهٔ ذوب خود باشد.

حل: با استفاده از جدول (۶ـ۲) داریم :

$$L_F = ۶۴/۵ \times ۱۰^۳ \ J/kg$$

$$m = ۱۰ g = ۰/۰۱ kg$$

بنابراین از رابطهٔ (۶ـ۷) داریم :

$$Q = mL_F = ۰/۰۱ \times ۶۴/۵ \times ۱۰^۳ = ۶۴۵ J$$

مثبت بودن مقدار گرما نشان دهندهٔ گرماگیر بودن عمل ذوب است.

فعالیت ۶ـ۵

آزمایشی‌برای اندازه‌گیری گرمای نهان ذوب یخ طراحی کنید و آن‌را انجام دهید.

انجماد: فرآیند انجماد وارون فرآیند ذوب یعنی تبدیل مایع به جامد است. اگر مایعی را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم) هنگامی که به دمای انجماد یا نقطهٔ انجماد خود می‌رسد، شروع به جامدشدن می‌کند. دمای نقطهٔ ذوب یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطهٔ انجماد آن برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک آتمسفر به یخ صفر درجهٔ سلسیوس گرما دهیم شروع به ذوب می‌کند و نیز اگر در همان فشار از آب صفر درجهٔ سلسیوس گرما بگیریم شروع به انجماد می‌کند.

هر جسم به هنگام انجماد همان‌قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام ذوب می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژهٔ انجماد منفی گرمای نهان ویژهٔ ذوب است. به این ترتیب گرمای نهان انجماد m کیلوگرم مایع از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$Q = -mL_F \qquad (۶ـ۸)$$

علامت منفی نشان‌دهندهٔ آن است که مایع به هنگام انجماد گرما از دست می‌دهد.

جوشیدن و تبخیر: وقتی به مایعی گرما می‌دهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای مایع به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می‌شود و دما ثابت می‌ماند. مایع در این موقع به جوش می‌آید و تبدیل به بخار می‌شود. این دمای ثابت را «دمای جوش» یا «نقطهٔ جوش» می‌نامند.

جدول ۶ـ۳ ــ نقطهٔ جوش و گرمای نهان ویژهٔ تبخیر برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطهٔ جوش (°C)	گرمای نهان تبخیر (kJ /kg)
هلیم	۲۶۹ـ	۲۰/۹
هیدروژن	۲۵۳ـ	۴۵۲
ازت	۱۹۶ـ	۲۰۱
اکسیژن	۱۸۳ـ	۲۱۳
جیوه	۳۵۷	۲۷۲
آب	۱۰۰	۲۲۵۶
گوگرد	۴۴۵	۳۲۶
سرب	۱۷۵۰	۸۷۱
قلع	۱۴۴۰	۵۶۱
نقره	۲۱۹۳	۲۳۳۶
طلا	۲۶۶۰	۱۵۷۸
مس	۱۱۸۷	۵۰۶۹

نقطهٔ جوش هر مایع به جنس آن و فشار وارد بر آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالا رفتن نقطهٔ جوش آن می‌شود.

فعالیت ۶ ـ ۶

علت سریع‌تر پخته شدن غذا در دیگ زودپز را با افراد گروه خود مورد بحث قرار دهید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

گرمای نهان تبخیر و گرمای نهان ویژهٔ تبخیر: گرمایی را که یک مایع در نقطهٔ جوش خود می‌گیرد تا به بخار در همان دما تبدیل شود گرمای نهان تبخیر می‌گویند.

گرمای نهان ویژهٔ تبخیر (L_V)[1] یک مایع، برابر است با مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم از آن مایع در دمای نقطهٔ جوش بدهیم تا به بخار در همان دما تبدیل شود. در SI یکای گرمای نهان ویژهٔ تبخیر نیز همانند گرمای نهان ویژهٔ ذوب ژول بر کیلوگرم است.

۱ــ V حرف اول واژهٔ انگلیسی Vaporization به معنای تبخیر است.

بنابراین گرمای نهان تبخیر m کیلوگرم مایع از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$Q = mL_V \qquad (۶ـ۹)$$

گرمای نهان ویژهٔ تبخیر و نقطهٔ جوش مایع‌های مختلف، متفاوت است. این مقدارها برای برخی از مواد در جدول (۶ـ۳) داده شده است.

مثال ۶ ـ ۸

یک کتری برقی را که ۱/۶ kg آب دارد روشن می‌کنیم، از لحظهٔ آغاز جوشیدن، چه‌قدر انرژی برای تبدیل همهٔ آب به بخار مصرف می‌شود و چه‌قدر طول می‌کشد تا کتری ۲/۵ کیلوواتی همهٔ آب را تبخیر کند؟ (از اتلاف انرژی صرف نظر شود.)

حل: از جدول (۶ـ۳) برای آب داریم :

$$L_V = ۲۲۵۶ \times ۱۰^{۳}\ J/kg$$

$$m = ۱/۶ kg$$

انرژی مصرفی را از رابطهٔ (۶ـ۹) به‌دست می‌آوریم.

$$Q = ۱/۶ \times ۲۲۵۶ \times ۱۰^{۳} \simeq ۳۶۱۰ \times ۱۰^{۳} J = ۳۶۱۰ kJ$$

با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{Q}{t}$ داریم :

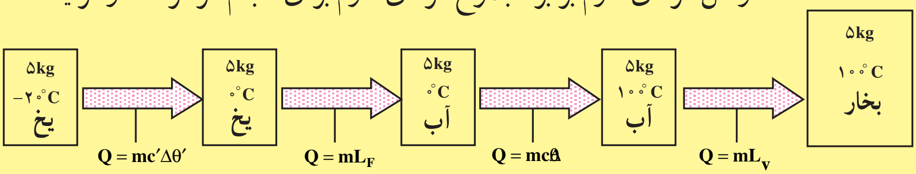
$$t = \frac{Q}{P} = \frac{۳۶۱۰ \times ۱۰^{۳} J}{۲/۵ \times ۱۰^{۳} W} \simeq ۱/۴۴ \times ۱۰^{۳} s$$

مثال ۶ـ۹

گرمای لازم برای تبدیل ۵kg یخ $-۲۰^\circ C$ به بخار آب $۱۰۰^\circ C$ را حساب کنید.

حل: شکل (۶ـ۷) مراحل تغییر یخ $-۲۰^\circ C$ به بخار آب $۱۰۰^\circ C$ و رابطهٔ مربوط به گرمای لازم برای هر تغییر را نشان می‌دهد.

مقدار کل گرمای لازم برابر مجموع گرمای لازم برای انجام هر مرحله از فرآیند



شکل ۶ـ۷

است. با استفاده از جدول‌های (۶ــ۱) و (۶ــ۲) و (۶ــ۳) داریم :

$$Q_{\text{کل}} = mc_{\text{یخ}}\Delta\theta_{\text{یخ}} + mL_F + mc_{\text{آب}}\Delta\theta_{\text{آب}} + mL_V$$

$$= ۵\times ۲۱۰۰ \times [۰-(-۲۰)] + ۵\times ۳۳۴\times ۱۰^{۳} + ۵\times ۴۲۰۰(۱۰۰-۰) +$$

$$۵\times ۲۲۵۶\times ۱۰^{۳}$$

با انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$$Q = ۱۵۲۶\times ۱۰^{۴}\,J = ۱۵/۲۶MJ$$

میعان: فرآیند میعان وارون فرآیند تبخیر، یعنی تبدیل بخار به مایع است. اگر مقداری بخار یک ماده را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم) هنگامی که به دمای میعان یا «نقطه میعان» خود می‌رسد، شروع به مایع شدن می‌کند. دمای نقطهٔ میعان یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطهٔ جوش آن برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک آتمسفر به آب صد درجهٔ سلسیوس گرما دهیم شروع به جوشیدن می‌کند و نیز اگر در همان فشار از بخار آب صد درجهٔ سلسیوس گرما بگیریم شروع به مایع شدن می‌کند. هر بخار به هنگام میعان همان‌قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام تبخیر می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژهٔ میعان منفی گرمای نهان ویژهٔ تبخیر است. به این ترتیب گرمای نهان میعان m کیلوگرم بخار یک ماده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$Q = -mL_V \qquad (۶ــ۱۰)$$

علامت منفی نشان‌دهندهٔ آن است که بخار هنگام میعان گرما از دست می‌دهد.

مثال ۶ ــ۱۰

یک لیوان شیشه‌ای بزرگ به جرم ۱۵ گرم حاوی ۲۰۰g آب ۲۰°C است. چند قطعه یخ ۰°C، به جرم ۴۰ گرم به درون لیوان می‌اندازیم، دمای پایانی آب را حساب کنید. گرمای ویژهٔ شیشه را ۳۶۰J/kgK بگیرید.

حل: با توجه به آن‌که مقدار گرمایی که یخ ۰°C می‌گیرد تا به آب ۰°C و سپس به آب در دمای تعادل تبدیل شود برابر با مقدار گرمایی است که لیوان شیشه‌ای و آب درون آن از دست می‌دهند تا از ۲۰°C به دمای تعادل برسند. می‌توانیم با در نظر گرفتن $m_۱$ برای لیوان و $m_۲$ برای آب درون آن و $m_۳$ برای یخ، بنویسیم :

$$m_۱c_۱(\theta-\theta_۱) + m_۲c_۲(\theta-\theta_۲) + m_۳L_F + m_۳c_۳(\theta-\theta_۳) = ۰ \qquad (۶ــ۱۱)$$

با استفاده از داده‌های این مثال و جدول‌های (۶ــ۱ و ۶ــ۲) داریم :

$m_1 = 15 \times 10^{-3} kg$ ، $c_1 =$ گرمای ویژهٔ شیشه $= 360 J/kgK$ ، $\theta_1 = 20^\circ C$

$m_2 =$ جرم آب درون لیوان $= 200 g = 0/2 kg$ ، $c_2 = 4200 J/kgK$

$\theta_2 = \theta_1 = 20^\circ C$

$m_3 = 40 g = 0/04 kg$ ، $L_F =$ گرمای نهان ویژه ذوب یخ $= 334 \times 10^3 J/kg$

$c_3 = 4200 J/kgK \qquad \theta_3 = 0^\circ C$

با درج این مقدارها در رابطهٔ (۶ــ۱۱) و انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$\theta \simeq 3/5^\circ C$

تبخیر سطحی: پارچهٔ خیسی را روی سنگ‌فرش پهن کنید. پس از یکی دو ساعت می‌بینید کاملاً خشک شده است. آب آن کجا رفته است؟

پاسخ آن است که آب تبخیر شده است. تجربه‌هایی مانند این نشان می‌دهند که در سطح آزاد هر مایع همواره در هر دمایی عمل تبخیر روی می‌دهد. این پدیده را تبخیر سطحی می‌گویند. مایع در اثر تبخیر سطحی گرمای نهان تبخیر خود را از دست می‌دهد و در اثر آن دمایش پایین می‌آید. تجربه نشان می‌دهد که آهنگ تبخیر سطحی به عامل‌های مختلفی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.

فعالیت ۶ ــ ۷

الف ــ بررسی کنید که تبخیر سطحی با افزایش دما و افزایش سطح مایع سریع‌تر صورت می‌گیرد یا کندتر؟

ب ــ با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه عامل یا عامل‌های دیگری را که بر آهنگ تبخیر سطحی اثر می‌گذارند پیدا کنید.

فعالیت ۶ ــ ۸

تحقیق کنید و توضیح دهید چرا :

۱ــ با پوشیدن لباس‌های تر احساس سرما می‌کنید؟

۲ــ عرق کردن به خنک نگه‌داشتن بدن کمک می‌کند؟

۳ــ هنگامی که دوش می‌گیرید بخار آب روی شیشهٔ پنجرهٔ حمام مایع می‌شود؟

۶ــ۳ــ اثر تغییر دما بر طول و حجم جسم‌ها

اکثر اجسام چه جامد، چه مایع و چه گاز به هنگام افزایش دما انبساط می‌یابند، یعنی حجم آن‌ها افزایش می‌یابد و با کاهش دما حجمشان کاهش می‌یابد. این پدیده که در ساختن برخی وسیله‌ها مانند دماسنج‌ها و دماپاها مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند مشکل‌هایی در ساختن ماشین‌ها، پل‌ها، ساختمان‌ها و خط آهن ایجاد کند.

مثال‌هایی از افزایش حجم در اثر افزایش دما را در کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی دیده‌اید.

فعالیت ۶ ـ ۹

توضیح دهید که چگونه می‌توان با استفاده از ابزارهایی که در شکل (۶ــ۸) نشان داده شده است پدیدهٔ انبساط در اثر افزایش دما را نمایش داد.

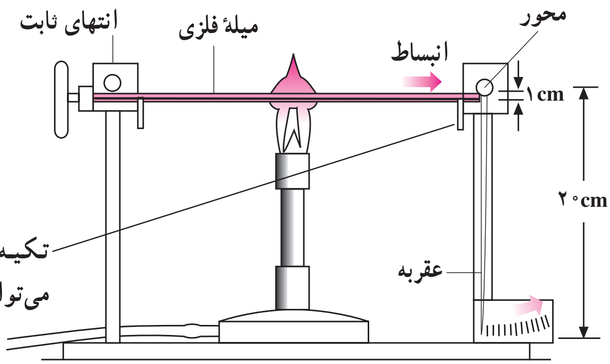


شکل ۶ــ۸

وقتی یک ورقهٔ فلزی را گرم می‌کنیم حجم آن زیاد می‌شود، یعنی ضخامت و مساحت سطح آن هر دو زیاد می‌شوند. اگر ضخامت ورقه در مقایسه با ابعاد سطح آن ناچیز باشد، **انبساط سطحی** آن بهتر مشاهده می‌شود. همین‌طور هم دربارهٔ یک میله، اگر طول آن در مقایسه با قطر مقطع آن بسیار بزرگ‌تر باشد، **انبساط طولی** آن بهتر دیده می‌شود.

انبساط طولی: برای دیدن انبساط طولی یک میلهٔ فلزی می‌توان از دستگاهی که در شکل (۶ــ۹) نشان داده شده است، استفاده کرد. وقتی میلهٔ فلزی گرم و منبسط می‌شود، عقربه را حول محور می‌چرخاند و انتهای عقربه انبساط طولی میله را چند بار (در شکل ۲۰ بار) بزرگ‌تر نشان می‌دهد و اندازه‌گیری دقیق آن را میسر می‌سازد.

با اندازه‌گیری انبساط طولی میله‌های از جنس‌های مختلف درمی‌یابید که اندازهٔ انبساط میله‌های فلزی از جنس‌های مختلف با یک‌دیگر متفاوت است. برای محاسبهٔ انبساط طولی کمیتی به نام ضریب انبساط طولی به صورت زیر تعریف می‌کنیم و آن‌را با α نمایش می‌دهیم.



شکل ۶ــ۹

ضریب انبساط طولی (α) برابر است با افزایش طول واحد طول ماده به ازای افزایش دمای یک کلوین.

انبساط طولی یا تغییر طول (ΔL) یک میله از جنس معین به دو عامل بستگی دارد :

ــ طول اولیهٔ میله (L_1) .

ــ مقدار تغییر دما (ΔT) .

هنگامی که دمای میله‌ای به طول L_1 به اندازهٔ ΔT افزایش یابد، طول آن به اندازهٔ ΔL افزایش می‌یابد. به این ترتیب انبساط یا افزایش طولِ واحدِ طولِ میله برای افزایش دمای ΔT برابر $\frac{\Delta L}{L_1}$ خواهد بود. افزایش طولِ واحدِ طولِ میله برای افزایش دمای یک کلوین برابر می‌شود با $\frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$. این همان ضریب انبساط طولی میله (α) است.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \qquad (۶ــ۱۲)$$

یکای ضریب انبساط طولی در SI، بر کلوین ($\frac{1}{K}$) یا بر درجهٔ سلسیوس ($\frac{1}{°C}$) نام دارد.

مقدار افزایش طول ΔL را می‌توان از رابطهٔ (۶ــ۱۲) به صورت زیر به‌دست آورد :

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T \qquad (۶ــ۱۳)$$

ضریب انبساط طولی ماده‌های مختلف با هم تفاوت دارند. ضریب انبساط طولی برخی از ماده‌ها در جدول (۶ــ۴) داده شده است. توجه کنید که این مقدارها بسیار کوچکند. ولی همین مقدارهای کوچک هم اثرهای قابل توجهی در ساختمان‌ها و دستگاه‌های مختلف دارد.

جدول ۶ــ۴ــ ضریب انبساط طولی ماده‌های مختلف

ماده	ضریب انبساط طولی $(\frac{۱}{K})$
آلومینیوم	۲۳×۱۰^{-۶}
آجر	۹×۱۰^{-۶}
مس	۱۷×۱۰^{-۶}
الماس	تقریباً صفر
بتون	۱۲×۱۰^{-۶}
آهن	۱۲×۱۰^{-۶}
کوارتز	$۰/۴\times۱۰^{-۶}$
روی	۳۱×۱۰^{-۶}
برنج	۱۹×۱۰^{-۶}

مثال ۶ــ۱۱

انبساط طولی یک پل بتونی به طول ۱۰۰m را هنگامی که دما به اندازهٔ ۲۰°C افزایش یابد حساب کنید.

حل: از جدول (۶ــ۴) داریم :

$$\alpha = ۱۲\times۱۰^{-۶}\ \frac{۱}{^{\circ}C}$$

با استفاده از رابطهٔ (۶ــ۱۳)، داریم :

$$\Delta L = \alpha L_{۱} \Delta\theta$$

$$\Delta L = ۱۲\times۱۰^{-۶}\times۱۰۰\times۲۰ = ۲/۴\times۱۰^{-۲} m$$

$$\Delta L = ۲/۴ cm$$

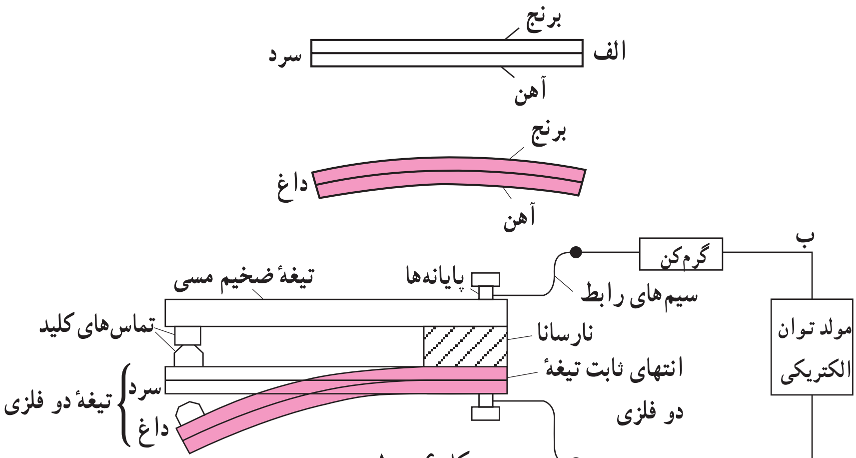
اگر در ساختمان پل پیش‌بینی فضای لازم برای این انبساط طولی نشده باشد، همین مقدار انبساط می‌تواند باعث تخریب پل گردد.

فناوری و کاربرد



دماپا (ترموستات): دماپا از دو تیغه از فلزهای متفاوت مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر به هم جوش داده شده یا میخ پرچ شده‌اند. در دمای کم محیط، دماپا، مدار الکتریکی دستگاه گرمکن را، مطابق شکل (۶ــ۱۰) کامل می‌کند. به علت عبور

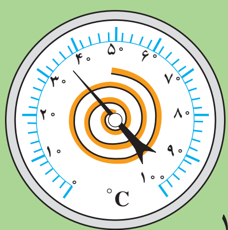
جریان الکتریکی از گرمکن الکتریکی گرما ایجاد می‌شود و دمای محیط بالا می‌رود. همان‌طور که در جدول (۶ــ۴) مشاهده می‌کنید ضریب انبساط طولی برنج بزرگ‌تر از آهن است. درنتیجه برنج بیش‌تر منبسط می‌شود و دماپا به طرف آهن خم می‌شود. وقتی دما به مقدار معینی رسید، تماس دماپا با تیغهٔ مسی قطع شده و مدار الکتریکی باز می‌شود. وقتی دوباره دما کم شود، دماپا به حالت اول برمی‌گردد و مدار بار دیگر متصل می‌شود. در نتیجه وجود دماپا در مدار گرمکن الکتریکی می‌تواند دما را تقریباً ثابت نگه دارد.



شکل ۶ــ۱۰

فعالیت ۶ــ۱۰

شکل (۶ــ۱۱) دماسنجی را نشان می‌دهد که در آن از یک نوار دو فلزی حلزونی شکل استفاده شده است. اساس کار این دماسنج را در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.



شکل ۶ــ۱۱

انبساط سطحی: برای محاسبهٔ انبساط سطحی هم می‌توانیم به روشی مشابه برای هر ماده یک ضریب انبساط سطحی تعریف کنیم.

ضریب انبساط سطحی برابر است با افزایش مساحت واحد سطح یک جسم جامد به ازای افزایش دمای یک کلوین. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط سطحی یک جسم تقریباً دو برابر ضریب انبساط طولی آن است. یکای ضریب انبساط سطحی نیز بر کلوین $(\frac{1}{K})$ یا بر درجهٔ سلسیوس $(\frac{1}{^\circ C})$ است.

اگر سطحی به مساحت A با افزایش دمای ΔT ، افزایش مساحتی برابر ΔA پیدا کرده باشد، داریم :

$$\text{ضریب انبساط سطحی}\ (\frac{1}{K}) = 2\alpha = \frac{\Delta A}{A_1 \Delta T} \qquad (۶ـ۱۴)$$

و یا :

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T \qquad (۶ـ۱۵)$$

انبساط حجمی: برای انبساط حجمی نیز می‌توانیم ضریب انبساط حجمی را تعریف کنیم : **ضریب انبساط حجمی یک ماده نیز برابر است با افزایش حجمِ واحدِ حجم ماده به ازای افزایش دمای یک کلوین.** یکای ضریب انبساط حجمی نیز بر کلوین $(\frac{1}{K})$ یا بر درجهٔ سلسیوس $(\frac{1}{^\circ C})$ است. ضریب انبساط حجمی را معمولاً با β نشان می‌دهند. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط حجمی یک جامد تقریباً سه برابر ضریب انبساط طولی آن است. یعنی $\beta = 3\alpha$. در این‌جا نیز می‌توانیم بنویسیم :

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T} \qquad (۶ـ۱۶)$$

و یا :

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T \qquad (۶ـ۱۷)$$

مثال ۶ـ۱۲

ابعاد یک شمش آلومینیومی در دمای $10^\circ C$ برابر $5cm \times 10cm \times 20cm$ است حجم این شمش را در دمای $90^\circ C$ حساب کنید.

حل: با استفاده از جدول (۶ـ۴) داریم :

$$\beta \simeq 3\alpha = 3 \times 23 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ C} = 69 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$$

$$V_1 = 5 \times 10 \times 20 cm^3 = 1000 cm^3$$

$$\Delta\theta = 90 - 10 = 80^\circ C$$

از رابطهٔ (۶ـ۱۷) داریم :

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = 69 \times 10^{-6} \times 1000 \times 80 = 5/52 cm^3$$

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

$$V_2 = \Delta V + V_1 = 1000 + 5/52 = 1005/52 cm^3$$

انبساط مایع‌ها: بیشتر مایع‌ها نیز با افزایش دما، افزایش حجم پیدا می‌کنند. انبساط مایع‌ها اساس کار دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی را تشکیل می‌دهد. ضریب انبساط حجمی چند مایع مختلف در جدول (۶ــ۵) داده شده است.

آزمایش ۶ــ۴

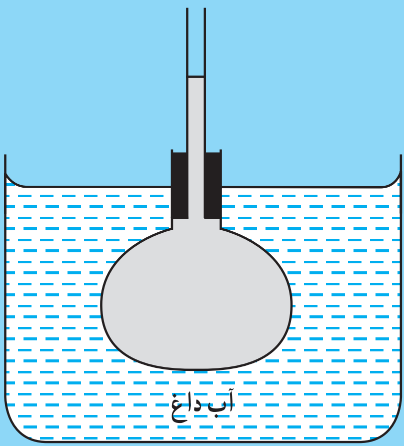
وسایل لازم: یک بالون شیشه‌ای، مقداری آب که با جوهر رنگی شده باشد، درپوش سوراخ‌دار همراه با یک لولهٔ شیشه‌ای بلند با مجرای بسیار نازک، چراغ الکلی، سه پایه و شعله پخش‌کن، ظرف شیشه‌ای بزرگ نسوز

۱ــ بالون شیشه‌ای را از آب رنگی پر کنید و درپوش همراه با لولهٔ شیشه‌ای بلند را مطابق شکل (۶ــ۱۲) طوری در دهانهٔ بالون جای دهید که هیچ هوایی در بالون نباشد و آب مقداری در لوله بالا بیاید. ارتفاع آب در لولهٔ شیشه‌ای را با علامت مشخص کنید.

۲ــ ظرف شیشه‌ای بزرگ را پر از آب کرده روی شعلهٔ چراغ قرار دهید تا آب آن گرم شود.

۳ــ بالون شیشه‌ای را مطابق شکل ۶ ــ ۱۲ درون آب داغ فرو برید و نحوهٔ تغییر ارتفاع آب در لولهٔ شیشه‌ای را مشاهده کنید.

۴ــ مشاهده‌های این آزمایش را با توجه به انبساط ظرف (بالون شیشه‌ای) و انبساط آب توضیح دهید.



شکل ۶ــ۱۲ــ انبساط مایع‌ها

در آزمایش (۶ــ۴) اگر ارتفاع مایع درون لولهٔ باریک (به مساحت مقطع A) از مقدار h_1 قبل از گذاشتن بالون در آب داغ به مقدار h_2 در انتهای آزمایش رسیده باشد، مایع ظاهراً به اندازهٔ $\Delta V = (h_2 - h_1)A$ افزایش حجم پیدا کرده است، که به آن انبساط ظاهری مایع می‌گویند.

فعالیت ۶ـ۱۱

آیا واقعاً مایع به اندازهٔ انبساط ظاهری خود افزایش حجم پیدا کرده است؟ توضیح دهید. اگر پاسخ شما به این سؤال منفی است تحقیق کنید که انبساط واقعی مایع‌ها را چگونه اندازه می‌گیرند.

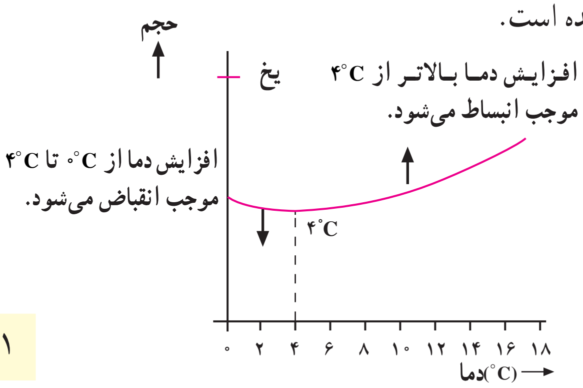
جدول ۶ــ۵ــ ضریب انبساط حجمی چند مایع

ماده	ضریب انبساط $(\frac{1}{K})$
اتر معمولی	$۱/۶ \times ۱۰^{-۳}$
الکل اتیلیک	$۱/۱ \times ۱۰^{-۳}$
بنزن	$۱/۲ \times ۱۰^{-۳}$
گلیسیرین	$۰/۵ \times ۱۰^{-۳}$
جیوه	$۰/۱۸ \times ۱۰^{-۳}$

تغییرات چگالی با دما: افزایش دما تغییری در جرم جسم ایجاد نمی‌کند ولی حجم آن را (به‌جز در موردهای استثنا) افزایش می‌دهد. از این‌رو انتظار داریم که چگالی $\rho = \frac{m}{V}$ با افزایش دما تغییر کند. با توجه به این‌که با افزایش دما، V در مخرج کسر افزایش می‌یابد، پس نتیجه می‌گیریم که افزایش دما باعث کاهش چگالی می‌شود.

هنگامی که مایع (یا گازی) را در یک نقطه گرم می‌کنیم، چگالی قسمت گرم شده کم می‌شود (کمتر از مایع (یا گاز) اطراف آن نقطه). در نتیجه چون قسمت گرم شده چگالی کم‌تری دارد به بالا رانده می‌شود و جای خود را به مایع (یا گاز) سردتر می‌دهد.

انبساط غیرعادی آب: حجم بیش‌تر مایع‌ها با کم شدن دما کاهش می‌یابد و با رسیدن به نقطهٔ انجماد این کاهش حجم بیش‌تر می‌شود. ولی آب رفتاری متفاوت دارد. به این ترتیب که آب از ۱۰۰°C تا ۴°C مانند هر مایع معمولی با کاهش دما کاهش حجم پیدا می‌کند. ولی از ۴°C تا ۰°C این رفتار عوض می‌شود و کاهش دما باعث افزایش حجم آب می‌شود. تغییرات حجم آب نسبت به دما در شکل (۶ـ۱۳) نشان داده شده است.

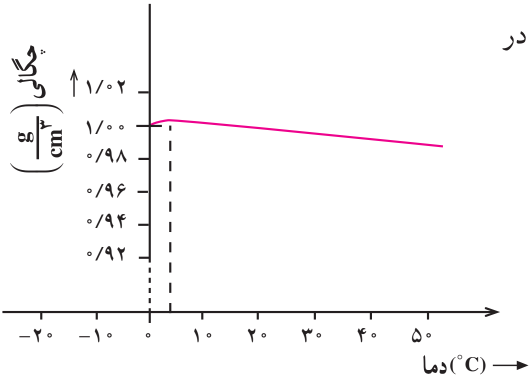


شکل ۶ــ۱۳ــ تغییر حجم آب و یخ

تمرین ۶ـ۵

آب در چه دمایی کم‌ترین حجم را دارد؟ در این دما چگالی بیشترین مقدار خود را دارد یا کمترین آن را؟

تغییرات چگالی آب نسبت به دما در شکل (۶ـ۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۶ـ۱۴ـ تغییرات چگالی آب با دما

فعالیت ۶ـ۱۲

تحقیق کنید که :

الف ـ این نوع تغییر غیرعادی حجم و چگالی آب چه تأثیری بر نحوهٔ قرار گرفتن لایه‌های آب با دماهای متفاوت در اقیانوس‌ها دارد؟

ب ـ این نحوهٔ قرار گرفتن چه تأثیری بر محیط زیست اقیانوس‌ها داشته است؟

۶ـ۴ـ انتقال گرما

دیدیم که اختلاف دما باعث شارش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود. این شارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود که عبارتند از **همرفتی**، **رسانش** و **تابش**. در ادامه به بررسی ساز و کار هریک از این روش‌ها می‌پردازیم. ولی باید گفته شود که در هر فرآیند انتقال گرما، هر سهٔ این ساز و کارها می‌توانند دخالت داشته باشند.

فعالیت ۶ـ۱۳

مبحث رسانش گرما را از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه بخوانید و آن‌را در چند سطر خلاصه بنویسید.

رسانش

با انجام این فعالیت به یاد آورده‌اید که رسانش گرما در مواد مختلف متفاوت است، از ماده‌های عایق مخصوص در دیوارها و سقف بناها استفاده می‌کنند تا از شارش برون‌سوی گرما در زمستان و شارش درون‌سوی آن در تابستان جلوگیری کنند. اکنون می‌دانید که فلزها رساناهای خوب گرما هستند.

در حالی که ماده‌هایی از قبیل شیشه، چوب، آزبست، آجر و جز این‌ها، رساناهای چندان خوبی نیستند.

برای محاسبهٔ آهنگ شارش گرما در یک ماده (یعنی مقدار گرمایی که در واحد زمان از هر مقطع فرضی در آن می‌گذرد)، میله‌ای به طول L و به سطح مقطع A از یک مادهٔ معین در نظر می‌گیریم. فرض کنید که یک سر این میله (سر داغ) را در دمای ثابت θ_2 (نسبتاً زیاد) و سر دیگر آن (سر سرد) را در دمای ثابت θ_1 (نسبتاً کم) قرار داده باشیم. آهنگ شارش گرما به عامل‌های زیر بستگی دارد :

۱ــ اختلاف دما: $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ هر چه اختلاف دما بیش‌تر باشد، گرما با آهنگ بالاتری در میله شارش می‌کند.

۲ــ طول میله: هر چه طول میله بیش‌تر باشد، آهنگ شارش گرما کندتر می‌شود.

۳ــ سطح مقطع میله: هر چه سطح مقطع میله بیش‌تر باشد آهنگ شارش گرما بیش‌تر می‌شود.

در نتیجه : Q، گرمایی که در t ثانیه در یک میله شارش می‌کند برابر است با :

$$Q = K\frac{At\Delta\theta}{L} \qquad (۱۸ـ۶)$$

A در این معادله مساحت سطح مقطع میله و L طول آن است. $\Delta\theta$ اختلاف دمای دو سر میله است.

ثابت تناسب K رسانندگی گرمایی نام دارد.

یکای رسانندگی گرمایی J /s.m.K یا W /m.K است.

رسانندگی گرمایی چند مادهٔ مختلف در جدول (۶ــ۶) درج شده است.

جدول ۶ــ۶ ــ رسانندگی گرمایی ماده‌های مختلف

ماده	رسانندگی گرمایی (J /s.m.K)	ماده	رسانندگی گرمایی (J /s.m.K)
سرب	۳۵	آهن	۸۲
شیشه	۱	نقره	۴۱۸
پنبه نسوز	۰/۰۹	هوا	۰/۰۲۴
آب	۰/۰۴	آجر	~۰/۶
یخ	۲/۲	چوب	~۰/۰۸
چوب پنبه	۰/۰۳	مس	۴۰۰
آلومینیوم	۲۳۸		

مثال ۶ـ۱۳

یک سر یک میلهٔ آهنی ۳ متری را در آب جوش و سر دیگر آن‌را در یک مخلوط آب و یخ قرار می‌دهیم. اگر شعاع مقطع میله ۲ سانتی‌متر باشد، چه مقدار انرژی در هر دقیقه از طریق رسانش در میله منتقل می‌شود؟

حل: مساحت سطح مقطع میله برابر است با :

$$A = \pi r^{۲} = ۳/۱۴ \times (۰/۰۲)^{۲} \simeq ۱/۲۶ \times ۱۰^{-۳} m^{۲}$$

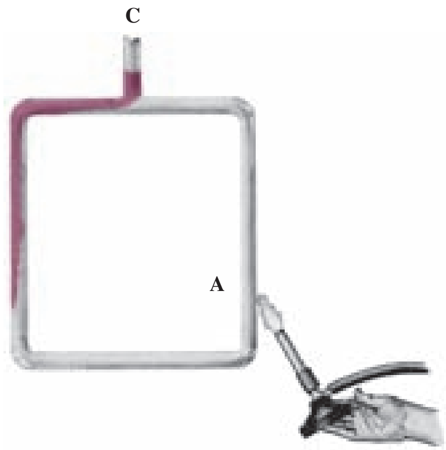
با به کار بردن معادلهٔ (۶ـ۱۸) و با استفاده از مقدار K برای آهن از جدول (۶ـ۶) داریم :

$$Q = \frac{KAt\Delta T}{L} = \frac{۸۲ \times ۱/۲۶ \times ۱۰^{-۳} \times ۶۰ \times ۱۰۰}{۳} \simeq ۲۰۷J$$

همرفتی: در مبحث انبساط مایع‌ها دیدیم که اگر در یک نقطه درون مایعی به آن گرما بدهیم، دمای آن نقطه بالا می‌رود و با افزایش دما حجم مایع در اطراف آن نقطه زیاد و چگالی کم می‌شود. کم‌شدن چگالی باعث بالا رفتن مایع با دمای زیادتر شده و مایع با دمای کم‌تر جای آن‌را می‌گیرد. این حرکت مایع باعث انتقال گرما به همهٔ نقاط ظرف می‌شود.

جریان همرفتی را می‌توانیم به سادگی با انجام آزمایش زیر نمایش دهیم. لولهٔ شیشه‌ای مستطیلی شکلی را که در شکل (۶ـ۱۵) نشان داده شده است پر از آب می‌کنیم و با یک چراغ الکلی یا گازی آن‌را در نقطهٔ A گرم می‌کنیم. اگر چند قطره مایع رنگی از نقطهٔ C به درون لوله بریزیم، حرکت مایع را به خوبی می‌توانیم مشاهده کنیم. همراه با این حرکت، مایع در همه‌جای لوله گرم می‌شود.

جریان همرفتی در هوا نیز وجود دارد. در یک روز آفتابی زمین و صخره‌ها با دریافت انرژی از نور خورشید گرم می‌شوند و دمای لایهٔ هوای مجاور خود را زیاد می‌کنند. هوای با دمای زیادتر به بالا می‌رود و هوای با دمای کم‌تر جای آن‌را می‌گیرد. این جریان هوای رو به بالا در برخی نقاط می‌تواند بسیار شدید باشد.



شکل ۶ـ۱۵ـ نمایش جریان همرفتی

فعالیت ۶ـ۱۴

دربارهٔ جهت وزش نسیم ازخشکی به طرف دریا و برعکس در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

مطالعه آزاد

وارونگی هوا: در بعضی شرایط خاص بین زمین و لایهٔ هوای گرم‌تر که معمولاً همراه با دود و آلودگی‌های دیگر هوای شهری به بالا صعود کرده است، یک لایهٔ هوای سرد قرار می‌گیرد. در این وضعیت لایهٔ آلوده و با دمای زیادتر، به دلیل وجود آلاینده‌ها در آن قسمت عمدهٔ انرژی خورشید را می‌گیرد و مانع نفوذ آن به لایهٔ ساکن زیرین می‌شود. در نتیجه هوای آلودهٔ شهری دیگر امکان بالارفتن پیدا نمی‌کند. این پدیده را **وارونگی هوا** می‌نامند.

این پدیده اثرهای زیان‌باری بر سلامتی افراد دارد. کودکان، سالمندان و کسانی که از بیماری‌های تنفسی رنج می‌برند در چنین شرایطی بهتر است درون خانه‌ها بمانند.

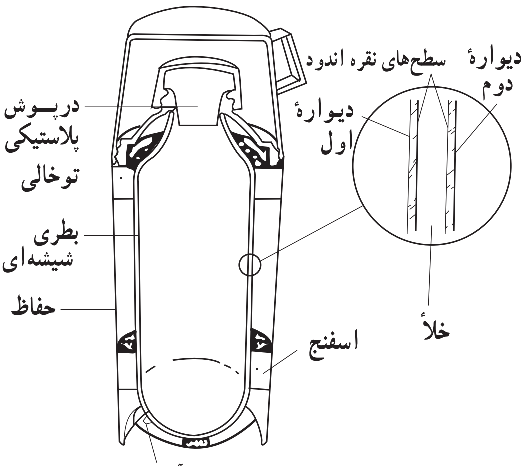
تابش: همهٔ ما تجربهٔ گرم شدن در نور خورشید را داریم. این نور برای رسیدن به ما از خلأ می‌گذرد. این نوع انتقال گرما را که نیاز به محیط مادی ندارد، **تابش** می‌نامند.

سرعت انتقال گرما از طریق تابش بسیار زیاد است. اگر در مقابل شعله بایستید، گرمای آتش را روی پوست خود احساس می‌کنید. در این هنگام، اگر شخصی بین شما و شعله قرار گیرد، در همان لحظه که شعله پنهان می‌شود، احساس گرما روی پوست شما نیز از بین می‌رود و باز هنگامی که شخص کنار رود احساس گرما با همان سرعت بازمی‌گردد.

همهٔ جسم‌ها، در حال تابش از سطح خود هستند. در نتیجه همهٔ جسم‌ها تابش جسم‌های دیگر را که در اطراف آنها قرار دارند دریافت می‌کنند. از این تابش دریافتی بخشی را جذب می‌کنند (که باعث زیادتر شدن دمای آن‌ها می‌شود) و بخش دیگری را باز می‌تابانند. آن جسم‌هایی که سطح صیقلی‌تری دارند بازتابش بیش‌تری انجام می‌دهند و بخش کم‌تری از تابش دریافتی را جذب می‌کنند.

مطالعه آزاد

فلاسک خلأ : برای آن‌که چای یا نوشیدنی در فلاسک داغ بماند، باید انتقال گرما از آن به محیط اطراف، از هر سه طریق همرفتی، رسانش و تابش به حداقل برسد. خلأ بین دو دیوارهٔ شیشه‌ای بطری، از رسانش گرما از دیواره‌های فلاسک به‌طور کامل جلوگیری می‌کند. درپوش چوب پنبه‌ای یا پلاستیکی توخالی نیز حاوی هواست که رسانای ضعیف گرماست. در خلأ بین دو دیوارهٔ شیشه‌ای جریان همرفتی نیز وجود ندارد، تنها هنگامی که درپوش فلاسک برداشته می‌شود، جریان همرفتی می‌تواند باعث انتقال گرما شود. جلوگیری از تابش گرما از همه مشکل‌تر است، زیرا این تابش می‌تواند از خلأ بین دو دیواره بگذرد. پوشش نقره‌ای روی دیواره‌های شیشه‌ای بطری باعث کاهش انتقال گرما از طریق تابش می‌شود.



شکل ۶ــ۱۶

فعالیت ۶ــ۱۵

پاسخ دهید که چرا :

۱ــ در لباس‌های آتش‌نشانی از پوشش‌های فلزی براق استفاده می‌شود؟

۲ــ هنگامی که در یخچال را باز می‌کنید، هوای سرد از پایین آن بیرون می‌آید؟

۳ــ در کشورهای با آب و هوای گرم، رنگ سفید برای نمای بیرون خانه‌ها مناسب‌تر است؟

۴ــ در زمستان وقتی با پاهای برهنه روی کف سنگی یا سیمانی راه می‌روید، پاهای شما احساس سرما می‌کند، اما وقتی روی کف اتاق با کف‌پوش چوبی (با همان دما) راه می‌روید احساس سرما نمی‌کنید؟

۶ــ۵ــ قانون گازها

دیدیم که گازها هم مانند مایع‌ها و جامدها با زیاد شدن دما افزایش حجم پیدا می‌کنند. اگر بخواهیم این افزایش حجم صورت نگیرد باید فشار بیش‌تری بر گاز وارد کنیم. دانشمندانی چون بویل، ماریوت، شارل و گی لوساک با انجام آزمایش‌های متعدد و دقیق، رابطهٔ بین حجم و فشار، حجم و دما، فشار و دمای گازها را مورد بررسی قرار دادند.

پیامد این بررسی‌ها را می‌توان چنین بیان کرد :

برای مقدار معینی از یک گاز کامل، کمیت $\frac{PV}{T}$ یعنی حاصل ضرب فشار گاز در حجم آن تقسیم بر دمای گاز بر حسب کلوین همواره ثابت است. یعنی اگر در یک فرآیند، حجم و فشار و دمای مقدار معینی از یک گاز کامل را از $V_۱$ و $P_۱$ و $T_۱$ به $V_۲$ ، $P_۲$ و $T_۲$ برسانیم داریم :

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱}=\frac{P_۲V_۲}{T_۲} \qquad (۶ــ۱۹)$$

دما در این رابطه برحسب کلوین است. یکاهای فشار در دو طرف رابطه و همین‌طور یکاهای حجم در دو طرف باید یکسان باشند.

گازهای واقعی معمولاً به طور کامل از این قانون پیروی نمی‌کنند.

آزمایش‌ها نشان می‌دهند که رفتار یک گاز واقعی، هرچه فشار آن کم‌تر باشد، بیش‌تر به رفتار گاز کامل نزدیک است. گازهای واقعی در دماهای کم‌تر از دمای نقطهٔ میعان دیگر به حالت گاز نیستند و مایع می‌شوند.

مثال ۶ــ۱۴

حجم استوانهٔ موتور یک اتومبیل $۱۲۰cm^۳$ است. این استوانه حاوی مخلوطی از هوا و بنزین در فشار یک آتمسفر است. اکنون اگر حجم استوانه را در دمای ثابت به $۱۵cm^۳$ برسانیم، فشار آن چه‌قدر می‌شود؟

حل: چون دما ثابت است داریم : $T_۱=T_۲$

در نتیجه رابطهٔ (۶ــ۱۹) به صورت زیر درمی‌آید :

$$P_۱V_۱=P_۲V_۲ \qquad (۶ــ۲۰)$$

(این رابطه را حدود ۳۵۰ سال پیش بویل انگلیسی و ماریوت فرانسوی به طور مستقل از یک‌دیگر به‌دست آوردند و به قانون بویل ــ ماریوت مشهور است.)

در این مثال داریم :

$P_1 = 1atm \qquad V_1 = 120cm^3$

$P_2 = ? \qquad V_2 = 15cm^3$

در نتیجه با درج در معادلهٔ (۶ــ۲۰) داریم :

$1 \times 120 = P_2 \times 15$

با انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$P_2 = 8atm$

مثال ۶ ــ ۱۵

راننده‌ای فشار هوای درون تایر اتومبیل خود را در صبح یک روز سرد که دمای هوا $-3^\circ C$ است، روی ۲/۷ آتمسفر تنظیم می‌کند. اگر او به منطقهٔ گرم‌تری سفر کند به‌طوری که وقتی به مقصد می‌رسد دمای هوا $27^\circ C$ باشد، فشار هوای درون تایر چه‌قدر است؟

حل: در این مثال حجم تایر ثابت مانده است، یعنی :

$V_1 = V_2$

در نتیجه رابطهٔ (۶ــ۱۹) به صورت زیر درمی‌آید :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (۶\text{ــ}۲۱)$$

با استفاده از داده‌های مثال داریم :

$P_1 = 2/7atm \qquad T_1 = 273 - 3 = 270K$

$P_2 = ? \qquad T_2 = 273 + 27 = 300K$

با درج در معادلهٔ (۶ــ۲۱) داریم :

$$\frac{2/7}{270} = \frac{P_2}{300}$$

با انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$P_2 = 3atm$

مثال ۶ـ۱۶

دمای یک مقدار معین گاز اکسیژن را در فشار ثابت از صفر سلسیوس به $273°C$ می‌رسانیم، اگر حجم گاز در ابتدا برابر $2\times10^{3}cm^{3}$ باشد، حجم آن‌را در پایان آزمایش حساب کنید.

حل: در این آزمایش فشار ثابت مانده است، در نتیجه داریم :

$$P_1 = P_2$$

بنابراین رابطهٔ (۶ـ۱۹) به صورت زیر درمی‌آید :

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \qquad (۶ـ۲۲)$$

(این رابطه را حدود ۲۰۰ سال پیش شارل و گی‌لوساک به‌طور مستقل از یکدیگر به‌دست آوردند و به قانون شارل ــ گی‌لوساک معروف است.)

با استفاده از داده‌های این مثال داریم :

$$T_1 = 0 + 273 = 273K \qquad V_1 = 2\times10^{3}cm^{3}$$

$$T_2 = 273 + 273 = 546K \qquad V_2 = ?$$

با درج در معادلهٔ (۶ـ۲۲) داریم :

$$\frac{2\times10^{3}}{273} = \frac{V_2}{546}$$

با انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$$V_2 = 4\times10^{3}cm^{3}$$

فعالیت ۶ ـ ۱۶

با استفاده از تجهیزاتی که در آزمایشگاه فیزیک دبیرستان خود دارید، آزمایشی را طراحی کنید که در آن قانون گازها یا یکی از صورت‌های خاص آن مورد تحقیق قرار گیرد. آزمایش را به طور گروهی انجام دهید. گزارش کار آن‌را بنویسید و شرح دهید که برای کم کردن خطاها چه تمهیداتی باید اعمال کرد.

تمرین‌های فصل ششم

۱ــ چگونگی درجه‌بندی سلسیوس را با استفاده از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه بنویسید.

۲ــ دماهای زیر را بر حسب درجهٔ سلسیوس مشخص کنید:

الف ــ ۰K   ب ــ ۲۷۳K   پ ــ ۵۴۶K

۳ــ هنگامی که با دماسنج جیوه‌ای دمای آبی را اندازه می‌گیرید، موقع خواندن دما، باید مخزن دماسنج حتماً درون آب باشد، ولی وقتی پزشک دمای بدن بیمار را اندازه می‌گیرد، دماسنج را از محل تماس با بدن بیمار دور می‌کند، بعد دما را می‌خواند. چه تفاوتی بین دماسنج پزشکی و دماسنج جیوه‌ای معمولی وجود دارد که این روش اندازه‌گیری را توجیه می‌کند؟

۴ــ هنگامی که ۱ کیلوگرم آب را با گرمکن غوطه‌ور در آب به مدت ۵ دقیقه گرم می‌کنیم، دمای آب ۳۰°C بالا می‌رود.

الف ــ توان متوسط گرمکن را حساب کنید.

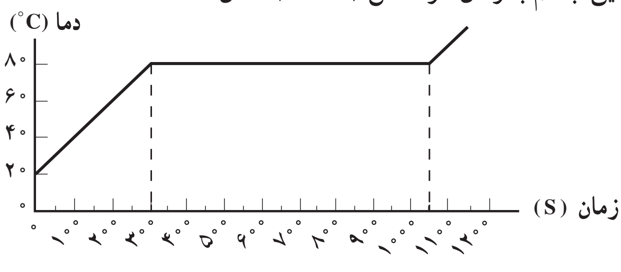
ب ــ اگر همین گرمکن آب را به مدت ۹ دقیقه گرم کند، دمای آن‌را چه‌قدر افزایش خواهد داد؟

۵ــ دمای یک قطعه فلز ۰/۶ کیلوگرمی را توسط یک گرمکن ۵۰ واتی در ۱۱۰ ثانیه از ۱۸°C به ۳۸°C رسانده‌ایم. این آزمایش برای گرمای ویژهٔ فلز چه مقداری را ارائه می‌دهد؟ حدس می‌زنید که این جواب از مقدار واقعی برای گرمای ویژه بیش‌تر است یا کم‌تر؟ توضیح دهید.

۶ــ چه روش‌هایی پیشنهاد می‌کنید که نتیجهٔ یک آزمایش اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی گرماسنج و یا یک آزمایش اندازه‌گیری گرمای ویژه از دقت بیش‌تری برخوردار باشد؟ توضیح دهید.

۷ــ گرماسنجی به جرم ۲۰۰ گرم از مس ساخته شده است. یک قطعهٔ ۸۰ گرمی از یک مادهٔ نامعلوم همراه با ۵۰ گرم آب به درون گرماسنج ریخته می‌شود. دمای این مجموعه ۳۰°C است. در این هنگام ۱۰۰ گرم آب ۷۰°C به گرماسنج اضافه می‌شود، دمای تعادل ۵۲°C می‌شود. گرمای ویژهٔ مادهٔ نامعلوم را محاسبه کنید.

۸ــ به یک جسم جامد ۰/۵ کیلوگرمی توسط یک گرمکن ۱۰۰ واتی گرما می‌دهیم. منحنی تغییرات دمای این جسم با زمان در شکل (۶ــ۱۷) نشان داده شده است.



شکل ۶ــ۱۷

الف ــ چه زمانی طول می‌کشد تا این جامد به نقطهٔ ذوب خود برسد؟

ب ــ با استفاده از نمودار، گرمای ویژهٔ جامد و گرمای نهان ویژهٔ ذوب آن‌را محاسبه کنید.

۹ــ گرمکنی در هر ثانیه ۲۰۰ ژول انرژی فراهم می‌کند. چه مدت زمان طول می‌کشد تا این گرمکن ۰/۱ کیلوگرم آب $100^\circ C$ را به بخار آب $100^\circ C$ تبدیل کند؟ این گرمکن در همین مدت زمانی چه مقدار یخ $0^\circ C$ را به آب $0^\circ C$ تبدیل می‌کند؟

۱۰ــ یک گرمکن که با آهنگ ثابت ۵۰۰ وات انرژی تولید می‌کند، به‌طور کامل در یک قطعه یخ بزرگ با دمای $0^\circ C$ گذاشته شده است. در مدت ۱۳۲۰ ثانیه، ۲ کیلوگرم آب با دمای $0^\circ C$ تولید می‌شود. گرمای نهان ویژهٔ ذوب یخ را حساب کنید.

۱۱ــ یک گرمکن ۵۰ واتی غوطه‌ور در آب به‌طورکامل در ۱۰۰ گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می‌شود.

الف ــ این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از $20^\circ C$ به $25^\circ C$ می‌رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.

ب ــ چه مدت طول می‌کشد تا دمای آب درون گرماسنج از $25^\circ C$ به نقطهٔ جوش ($100^\circ C$) برسد؟

پ ــ چه مدت طول می‌کشد تا ۲۰ گرم آب درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

۱۲ــ با استفاده از مقدارهای ضریب انبساط طولی درجدول (۶ــ۴)، انبساط تیرآهنی با طول اولیهٔ ۲۵ متر، دراثر افزایش دمای از $-10^\circ C$ تا $30^\circ C$ را حساب کنید.

۱۳ــ با استفاده از جدول (۶ــ۴) حساب کنید که چه مقدار افزایش دما باعث می‌شود که طول یک خط‌کش ۰/۵ متری برنجی ۱/۱ میلی‌متر افزایش یابد.

۱۴ــ در روزی که دما $0^\circ C$ است برای پنجره‌ای، شیشه‌ای به طول $6m$ انداخته شد. برای پیش‌بینی انبساط شیشه، فاصلهٔ کوچکی به اندازهٔ ۱/۳۵ میلی‌متر بین شیشه و چارچوب منظور شد. روزی که دما $25^\circ C$ است مشاهده می‌شود که این فاصله از بین رفته است. با چشم‌پوشی از انبساط چارچوب پنجره، ضریب انبساط شیشه را حساب کنید.

۱۵ــ از شیشهٔ پنجره‌ای به عرض ۲ متر و ارتفاع ۱ متر و ضخامت $4mm$:

الف ــ در یک روز زمستانی که دمای بیرون $0^\circ C$ و دمای درون اتاق $20^\circ C$ است چه مقدار گرما در هر ثانیه به خارج نشت می‌کند؟

ب ــ چه مقدار انرژی در طول یک روز به این ترتیب تلف می‌شود؟

پ ــ اگر در طول سال دمای داخل اتاق به‌طور متوسط $8^\circ C$ بالاتر از دمای بیرون باشد، چه مقدار انرژی توسط رسانش از همین یک پنجره تلف می‌شود؟

۱۶ــ گازی در دمای $20^\circ C$ دارای حجم $100 cm^3$ است. این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا حجم آن در فشار ثابت $200 cm^3$ شود؟ این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم $50 cm^3$ خواهد شد؟

۱۷ــ هوا با فشار یک آتمسفر درون استوانهٔ یک دستگاه باد دوچرخه به طول ۲۴cm محبوس است.

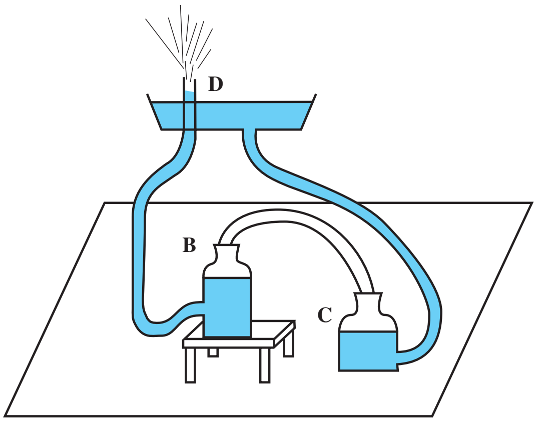
الف ــ اگر طول استوانه را در دمای ثابت به ۳۰cm افزایش دهیم، فشار هوای محبوس چه‌قدر خواهد شد؟

ب ــ برای آن‌که در دمای ثابت فشار هوای محبوس ۳ آتمسفر شود، طول استوانه را چه‌قدر باید کاهش دهیم؟

۱۸ــ تایر یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا $17^\circ C$ است فشار اندازه‌گیری شده در تایر ۲ آتمسفر بیش از فشار جو است. پس از یک اتومبیل‌رانی بسیار سریع، فشار هوای تایر دوباره اندازه‌گیری می‌شود. مشاهده می‌شود که فشار ۲/۳ آتمسفر بیش از فشار جو است. دمای هوای درون تایر در این وضعیت چه‌قدر است (حجم تایر را ثابت بگیرید)؟

۱۹ــ در شکل ۶ــ ۱۸فواره هرون (ریاضی‌دان مصری عهد باستان) نشان داده شده است. فرض کنید که ظرف B در ابتدا پر و ظرف C خالی است.

توضیح دهید چرا آب از لوله D فوران می‌کند؟



شکل ۶ــ ۱۸

واژه‌نامه

ابر رسانا	Superconductor
انجماد	Freezing
اندازه‌گیری	Measurement
انرژی پتانسیل	Potential Energy
انرژی جنبشی	Kinetic Energy
انرژی درونی	Internal Energy
برآیند	Resultant
بردار	Vector
بردار مکان	Position Vector
بلورین	Crystalline
پایستگی انرژی	Conservation of Energy
پخش	Diffusion
تابش	Radiation
تبخیر	Vaporization
تبخیر سطحی	Evaporation
تصعید	Sublimation
تعادل گرمایی	Thermal Equilibrium
تَف‌سنج نوری	Optical Pyrometer
توان	Power
جابه‌جایی	Displacement
جرم	Mass
چسبندگی	Cohesion
چسبندگی سطحی	Adhesion
چگالش	Condensation
چگالی	Density
حالت	Phase
حرکت	Motion
حرکت‌شناسی	Kinematics
حرکت یکنواخت	Uniform Motion
دما	Temperature
دماپا	Thermostat
دماسنج	Thermometer
دماسنج فرینه	Maximum and Minimum Thermometer
دینامیک	Dynamics
ذوب	Fusion
ذرّات بنیادی	Elementary Particles
رسانا	Conductor
رسانش	Conduction
سرعت لحظه‌ای	Instantaneous Velocity
سرعت متوسط	Average Velocity
شتاب لحظه‌ای	Instantaneous Acceleration

شتاب متوسط	Average Acceleration
ضریب اصطکاک ایستایی	Coefficient of Static Friction
ظرفیت گرمایی	Heat Capacity
فراصوت	Ultrasound
فشار	Pressure
فشار پیمانه‌ای	Gage Pressure
فشارسنج	Barometer
فناوری	Technology
فیزیک اتمی	Atomic Physics
فیزیک هسته‌ای	Nuclear Physics
قانون‌های نیوتون	Newton’s Laws
قضیه کار و انرژی	Work - Energy Theorem
کار	Work
کشش	Tension
کشش سطحی	Surface Tension
کمیّت	Quantity
گاز کامل	Ideal gas
گرانش	Gravitation
گرما	Heat
گرمای نهان	Latent Heat
گرمای ویژه	Specific Heat
مادّهٔ چگال	Condensed Matter
مقیاس دماسنجی	Temperature Scale
مویینگی	Capillarity
میعان	Liquefaction
نرده‌ای	Scalar
نمادگذاری علمی	Scientific Notation
نیرو	Force
نیروسنج	Dynamometer
نیم‌رسانا	Semiconductor
نیروی رانشی	Repulsive Force
نیروی ربایشی	Attractive Force
وزن	Weight
همرَفت	Convection
یکا	Unit
یکاهای اصلی	Base Units
یکاهای فرعی	Derived Units

فهرست منابع

منابع فارسی

۱ــ فیزیک دانشگاهی (جلد اول)، ویرایش نهم، هیویانگ و راجر فریدمن، ترجمهٔ فضل‌اللّه فروتن، چاپ چهارم ۱۳۸۱، نشر علوم دانشگاهی.

۲ــ مبانی فیزیک (جلد اول)، ویراش هفتم، دیوید‌هالیدی، رابرت رزنیک و جرل واکر، ترجمهٔ محمدرضا جلیلیان نصرتی، محمد عابدینی و محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر، چاپ اول ۱۳۸۴، انتشارات صفار.

۳ــ درک فیزیک با رویکرد تصویری، بریان آرنولد، ترجمهٔ روح‌الله خلیلی بروجنی و مریم عباسیان. چاپ اول ۱۳۸۵، انتشارات مدرسه.

۴ــ حرارت و ترمودینامیک، مارک زیمانسکی و ریچارد دیتمن، ترجمهٔ حسین تونوچی، حسن شریفیان عطار و محمدهادی هادیزاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.

۵ــ فیزیک عمومی (جلد سوم)، مارچلو آلوسنو و ادوارد جی. فین، ترجمهٔ ناصر میرفخرایی و ایرج هرمزدیاری، چاپ اول ۱۳۷۰، مرکز نشر دانشگاهی.

۶ــ فیزیک آماری، ف. رایف، ترجمهٔ سیروس ضیاء و ابوالحسن فرج‌زاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.

۷ــ فیزیک PSSC، یوری هابر ــ شیم، جان اچ، داج و جیمز، اِی والتر، ترجمهٔ احمد خواجه نصیرطوسی، ناصر مقبلی و هوشنگ شریف‌زاده، چاپ اول ۱۳۷۳، انتشارات فاطمی.

منابع انگلیسی

۱. Physics, Ken Dobson, 1995, Thomas Nelson and Sons Ltd.

۲. Understanding Physics, Robin Millar, 1989, Collins Educational.

۳. Foundation Physics, Keith Gibbs and Robert Hutchings, 1998, University of Cambridge.

۴. Basic Physics 1 and 2, David Sang, 1996, University Press.

۵. University Physics, Hugh D. Young, 1992, Addison - Wesley.

۶. Focus on Physical Science, Charles H. Heimler and Jack Price, 1987, Merrill Publication Company.

۷. Fundamental of Physics, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 1993, John Wiley and Sons.

۸. Physics, Frederick Keller, Edward Gettys and Malcolm Skove, 1993, McGraw - Hill.

۹. Physics, Douglas C. Giancoli, 1991, Prentice - Hall International.

۱۰. Principles of Physics, Frank J. Blatt, 1989, Allyn and Bacon.

۱۱. Principles of Physics, Fredrick J. Bueche, David A. Jerde, 1995, MC Graw- Hill.

تصویرهای شروع فصل‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ از کتاب مجموعه تصاویر نیکول فریدنی، چاپ ۱۳۸۱، انتخاب شده‌اند.

فهرست کتاب‌های مناسب فیزیک که چاپ اول آن‌ها در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ انجام شده است:

۱ــ آسمان شب ؛ برایان جونز ؛ تهران : کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان.

۲ــ آموزش فیزیک ؛ ادوارد اف. ردیش ؛ ترجمهٔ فاطمه احمدی ؛ تهران : دانشگاه تربیت دبیری شهید رجایی.

۳ــ اختر فیزیک مقدماتی ؛ بابک کبیری منش ؛ تهران : مبتکران، پیشروان.

۴ــ تئوری و مسایل نجوم : سری شوم ؛ استیسی‌ای. پلن ؛ ترجمهٔ صمد غلامی ؛ تهران : دانش پژوهان جوان.

۵ــ تاریخ نجوم در ایران ؛ حمیدرضا گیاهی یزدی ؛ تهران : دفتر پژوهش‌های فرهنگی.

۶ــ جهان به کجا می‌رود؟ سرنوشت سیارهٔ زمین در صد سال آینده) ؛ علی افضل صمدی ؛ تهران : مؤسسهٔ فرهنگی هنری جهان کتاب.

۷ــ راهنمای رصد اجرام اعماق آسمان (نقشهٔ آسمان) ؛پاتریک مور ؛ تهران : دانش پژوهان جوان.

۸ ــ فرهنگ نامهٔ نجوم و فضا ؛ هیثرکوپر ؛ ترجمهٔ شادی حامدی آزاد ؛ تهران : طلایی.

۹ــ فیزیک ستاره‌ها ؛ سی‌فیلیپس ؛ ترجمهٔ محمود بهار و دیگران ؛ تهران : مبتکران، پیشروان.

۱۰ــ فیزیک مفهومی ؛ ۴ جلد : پل جی هیوئیت ؛ ترجمهٔ منیژه رهبر ؛ تهران : فاطمی

۱۱ــ فیزیک ۲ و آزمایشگاه ؛ احمد احمدی و دیگران ؛ تهران : مبنای خرد : نقش سیمرغ.

۱۲ــ کتاب کار ــ فیزیک دوم دبیرستان ؛ سیداکبر ساداتیان و دیگران ؛ تهران : مرآت دانش.

۱۳ــ مسئله های مکانیک ؛ احمدرضا حسینی ؛ تهران : فاطمی.

۱۴ــ مکانیک ؛ امیرآقا محمدی ؛ تهران : فاطمی.

۱۵ــ مکانیک و پرتوزایی* ؛ مارک‌الس و دیگران : ترجمهٔ روح‌اللّٰه خلیلی بروجنی ؛ تهران : مدرسه.

۱۶ــ موج‌ها و جهان ما : مارک الس و دیگران ؛ ترجمهٔ روح اللّٰه خلیلی بروجنی ؛ تهران : مدرسه.

فهرست کتاب‌های مناسب فیزیک که چاپ اول آن‌ها در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ انجام شده است:

۱ــ آسمان شب ؛ برایان جونز ؛ تهران : کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان.
۲ــ آموزش فیزیک ؛ ادوارد اف. ردیش ؛ ترجمهٔ فاطمه احمدی ؛ تهران : دانشگاه تربیت دبیری شهید رجایی.
۳ــ اختر فیزیک مقدماتی ؛ بابک کبیری منش ؛ تهران : مبتکران، پیشروان.
۴ــ تئوری و مسایل نجوم : سری شوم ؛ استیسی‌ای. پلن ؛ ترجمهٔ صمد غلامی ؛ تهران : دانش پژوهان جوان.
۵ــ تاریخ نجوم در ایران ؛ حمیدرضا گیاهی یزدی ؛ تهران : دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
۶ــ جهان به کجا می‌رود؟ سرنوشت سیارهٔ زمین در صد سال آینده) ؛ علی افضل صمدی ؛ تهران : مؤسسهٔ فرهنگی هنری جهان کتاب.
۷ــ راهنمای رصد اجرام اعماق آسمان (نقشهٔ آسمان) ؛پاتریک مور ؛ تهران : دانش پژوهان جوان.
۸ ــ فرهنگ نامهٔ نجوم و فضا ؛ هیثرکوپر ؛ ترجمهٔ شادی حامدی آزاد ؛ تهران : طلایی.
۹ــ فیزیک ستاره‌ها ؛ سی‌فیلیپس ؛ ترجمهٔ محمود بهار و دیگران ؛ تهران : مبتکران، پیشروان.
۱۰ــ فیزیک مفهومی ؛ ۴ جلد : پل جی هیوئیت ؛ ترجمهٔ منیژه رهبر ؛ تهران : فاطمی
۱۱ــ فیزیک ۲ و آزمایشگاه ؛ احمد احمدی و دیگران ؛ تهران : مبنای خرد : نقش سیمرغ.
۱۲ــ کتاب کار ــ فیزیک دوم دبیرستان ؛ سیداکبر ساداتیان و دیگران ؛ تهران : مرآت دانش.
۱۳ــ مسئله های مکانیک ؛ احمدرضا حسینی ؛ تهران : فاطمی.
۱۴ــ مکانیک ؛ امیرآقا محمدی ؛ تهران : فاطمی.
۱۵ــ مکانیک و پرتوزایی* ؛ مارک‌الس و دیگران : ترجمهٔ روح‌اللّٰه خلیلی بروجنی ؛ تهران : مدرسه.
۱۶ــ موج‌ها و جهان ما : مارک الس و دیگران ؛ ترجمهٔ روح اللّٰه خلیلی بروجنی ؛ تهران : مدرسه.

معلمان محترم، صاحب‌نظران، دانش‌آموزان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظر اصلاحی خود را درباره‌ی مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران ـ صندوق پستی ۳۶۳ ۱۵۸۵۵ـ گروه درسی مربوط و یا پیام‌نگار (Email): talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی